



***UTILIZAÇÃO DE IMAGEM LISS III PARA
ANÁLISE DE ESPAÇOS VERDES EM
LISBOA***

Maria José Velho Santos

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do
grau de Mestre em Ciência e Sistemas de Informação Geográfica

Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação
da Universidade Nova de Lisboa

UTILIZAÇÃO DE IMAGEM LISS III PARA ANÁLISE DE ESPAÇOS VERDES EM LISBOA

Dissertação orientada por
Professor Doutor Mário Sérgio Rochinha de Andrade Caetano
e
Professor Doutor Marco Octávio Trindade Painho

Novembro de 2009

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Mário Caetano por ter aceitado ser meu orientador e pela disponibilidade e excelentes conhecimentos que sempre demonstrou ao longo de todas as etapas deste trabalho, sem os quais teria sido impossível a sua realização.

Ao Professor Marco Painho, não só pela orientação prestada, mas também por toda a coordenação do mestrado, bem como a todos os Professores e Colaboradores que participaram na sua realização.

Gostaria também de agradecer ao Instituto Geográfico Português pelas condições e informação disponibilizada, assim como ao Grupo de Detecção Remota, em particular aos Eng.^o Hugo Costa, Eng.^a Vanessa Mateus e Eng.^o António Nunes.

À Eng.^a Inês Castro e Eng.^a Margarida San-Payo da Câmara Municipal de Lisboa, Departamento de Ambiente e Espaços Verdes, pela disponibilização de dados sobre as áreas verdes de Lisboa que foram de extrema importância para a realização desta dissertação.

À minha família, pela presença, compreensão e apoio em todos os momentos da minha vida.

UTILIZAÇÃO DE IMAGEM LISS III PARA ANÁLISE DE ESPAÇOS VERDES EM LISBOA

RESUMO

O presente trabalho foi desenvolvido com o objectivo de estudar metodologias de identificação de áreas verdes em Lisboa, utilizando imagem de satélite LISS III e tendo como informação auxiliar ortofotomapas e cartografia com delimitação de áreas verdes existentes no concelho.

A metodologia consistiu em produzir mapas de áreas verdes pelo cálculo do *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), classificação assistida e não assistida. Os mapas obtidos foram verificados quanto à exactidão, sendo o mapa de NDVI para valores de *pixel* superiores a 0.01 o que apresentou melhor exactidão global (86.00%). Este mapa pode ser útil à Câmara Municipal de Lisboa para verificação e complemento dos mapas já existentes no município.

Com base no mapa de áreas verdes e métodos de análise de regressão linear, foi realizado um mapa de nível de impermeabilização do solo.

Calcularam-se indicadores de áreas verdes por freguesia e secção estatística. Os mapas com espacialização destes indicadores permitiram tirar conclusões sobre a distribuição de áreas verdes em Lisboa.

Foram feitos estudos de correlação entre indicadores de áreas verdes e variáveis dos censos de 2001, população residente empregada, idade média dos edifícios e ocupação dos edifícios (residencial ou não residencial), no entanto a correlação encontrada não é muito forte.

USING IMAGE LISS III FOR ANALYSIS OF GREEN SPACES IN LISBON

ABSTRACT

The objectives of this research project involved the study of methodologies for the identification of areas of vegetation across Lisbon Municipal Council through recourse to LISS III satellite images and backed up by auxiliary information drawn from orthophotomaps and other sources defining such areas across this geographic region.

The methodology consisted in producing maps of these green spaces via calculating the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), an assisted and non-assisted classification. The maps obtained were then verified as to the extent of their accuracy with the NDVI map for pixel values greater than 0.01 turning in the highest overall accuracy (86.00%). This map bears relevance for Lisbon Municipal Council both for verifying and complementing those already existing.

Based on this charting of existing vegetation and linear regression methods of analysis, a map of soil sealing was produced.

Green space indicators were calculated for each parish council and statistically represented areas. These maps, spatially depicting these indicators, enable further conclusions to be drawn as to the distribution of vegetation across the city of Lisbon.

In addition, correlations were carried out between the green space indicators and variables taken from the 2001 census, the employed residential population, average building age and purpose (residential or non-residential), although the results of these correlations did not prove particularly conclusive.

PALAVRAS-CHAVE

Detecção Remota

Espaços Verdes

Índice de Vegetação

Lisboa

Sistemas de Informação Geográfica

KEYWORDS

Remote Sensing

Green Areas

Vegetation Index

Lisbon

Geographical Information Systems

ACRÓNIMOS

ASCII - *American Standard Code for Information Interchange*

AWiFS - *Advanced Wide Field Sensor*

CA - Classificação Assistida

CAOP - Carta Administrativa Oficial de Portugal

CBERS - *China Brazil Earth Resources Satellite*

CCD - *Charge Coupled Device*

CLC00 - *Corine Land Cover 2000*

CML - Câmara Municipal de Lisboa

CNA - Classificação não Assistida

DAEV - Departamento de Ambiente e Espaços Verdes

DGRF - Direcção Geral dos Recursos Florestais

DMAU - Direcção Municipal de Ambiente Urbano

DR - Detecção Remota

ER - Exclusivamente Residencial

ETM - *Enhanced Thematic Mapper*

ETRS89 - *European Terrestrial Reference System*

EUREF - *European Reference Frame*

EVI - *Enhanced Vegetation Index*

FRIRP - *Front Range Infraestrutures Resources Project*

FSV - *Fraction of Surrounding Vegetation*

GDR - Grupo de Detecção Remota

IEP - Índice de Exactidão do Produtor

IEU - Índice de Exactidão do Utilizador

IGP - Instituto Geográfico Português

IHS - *Intensity Hue Saturation*

INE - Instituto Nacional de Estatística

IRS - *Indian Remote Satellites*

ISEGI - Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação

ISRO - Organização Indiana de Pesquisa Espacial

LAI - *Leaf Area Index*

LISS - *Linear Imaging Self Scanning*

MISR - *Multi-angle Imaging SpectroRadiometer*

NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index*

PNR - Principalmente não Residencial

PR - Principalmente Residencial

SAR - *Synthetic Aperture Radar*

SIG - Sistemas de Informação Geográfica

SMA - *Spectral Mixture Analysis*

USGS - *U.S. Geological Survey*

ÍNDICE DO TEXTO

AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
PALAVRAS-CHAVE	vi
KEYWORDS	vi
ACRÓNIMOS	vii
ÍNDICE DE TABELAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xvii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objectivos	2
1.3 Abordagem metodológica	3
1.4 Organização da Tese.....	3
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DE MÉTODOS PARA ANÁLISE DE ESPAÇOS VERDES EM MEIOS URBANOS, COM TÉCNICAS DE DETECÇÃO REMOTA.....	5
2.1 Metodologias para cartografar áreas verdes em meios urbanos	5
2.2 Relação entre existência de áreas verdes e características sócio-económicas da população.....	10
2.3 Análise do nível de impermeabilização do solo.....	13
3 ÁREA DE ESTUDO E DADOS UTILIZADOS	15
3.1 Área de estudo.....	15
3.2 Dados utilizados.....	16
3.2.1 Dados de detecção remota.....	17
3.2.2 Informação auxiliar.....	18

4 METODOLOGIA.....	19
4.1 Produção de um mapa de áreas verdes.....	19
4.1.1 Metodologias de extracção de informação da imagem LISS III	19
4.1.2 Mapa de Verde da Câmara Municipal de Lisboa	25
4.1.3 Avaliação da exactidão de mapas de áreas verdes	26
4.1.4 Comparação de mapas de áreas verdes	28
4.2 Metodologia de produção de um mapa de índice de impermeabilização do concelho	29
4.2.1 Extracção de pontos de amostra	30
4.2.2 Modelo de regressão linear	31
4.3 Análise de área verde por freguesia	32
4.3.1 Cálculo de indicadores de espaços verdes	32
4.3.2 Análise de correlação entre indicadores de espaços verdes e variáveis dos censos	37
4.4 Análise de área verde por secção estatística	37
5 DISCUSSÃO DE RESULTADOS	39
5.1 Resultados obtidos na elaboração de um mapa de áreas verdes	39
5.1.1 Extracção de informação da imagem LISS III	39
5.1.2 Mapa de áreas verdes da Câmara Municipal de Lisboa	43
5.1.3 Avaliação da exactidão dos mapas de áreas verdes	45
5.1.4 Comparação de mapas	55
5.2 Mapa de impermeabilização de Lisboa	57
5.3 Análise de área verde por freguesia	59
5.3.1 Cálculo de indicadores de espaços verdes	60
5.3.2 Análise de correlação entre indicadores de espaços verdes e variáveis dos censos	74
5.4 Análise de área verde por secção estatística	77
5.4.1 Cálculo de indicadores de espaços verdes	78
5.4.2 Análise de correlação entre indicadores de espaços verdes e variáveis dos censos	84
6 CONCLUSÕES	87
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90
ANEXOS	94
Anexo 1. Variáveis estatísticas dos censos de 2001	95
Anexo 2. Análise da exactidão dos mapas de NDVI cruzados com o mapa de áreas verdes da CML - Distribuição de pontos de amostra por classe	96
Anexo 3. Análise de exactidão dos mapas de NDVI cruzados com o mapa de áreas verdes da CML – Matrizes de confusão	99
Anexo 4. Matrizes de confusão com resultados da comparação dos mapas de NDVI com mapa de áreas verdes da CML	101

Anexo 5. Matrizes de Confusão com resultados da comparação dos mapas de NDVI com o mapa de áreas verdes da Classificação Assistida	104
Anexo 6. Matrizes de Confusão com resultados da comparação dos mapas de NDVI com mapa de áreas verdes da Classificação não Assistida	107

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Freguesias de Lisboa (ISEGI, 2005).	16
Tabela 2. Características do Sensor LISS III.	17
Tabela 3. Toponímia de parques e jardins públicos, ou de possível uso público (CML, 2008).	34
Tabela 4. Número de amostras por classe.	41
Tabela 5. Pontos de amostra por classe do mapa NDVI> 0.01 e classificação de referência, com base em imagem LISS III e mapa de áreas verdes da CML....	46
Tabela 6. Matriz de Confusão da comparação entre classificação de referência e mapa de NDVI> 0.01 cruzado com mapa da CML.	48
Tabela 7. Índices de Produtor, Utilizador e Exactidão Global, para os nove valores de teste de NDVI.	48
Tabela 8. Pontos de amostra por classe do mapa da CA e classificação de referência, com base em imagem LISS III e mapa de áreas verdes da CML.....	51
Tabela 9. Matriz de confusão da comparação entre classificação de referência e mapa de verde da CA cruzado com o mapa de verde da CML.	52
Tabela 10. Pontos de amostra por classe do mapa da CNA e classificação de referência, com base em imagem LISS III e mapa de áreas verdes da CML....	53
Tabela 11. Matriz de confusão para o mapa de verde da CNA e mapa de verde da CML.....	53
Tabela 12. Pontos de amostra por classes do mapa da CML e classificação de referência.	54
Tabela 13. Matriz de confusão do mapa de verde da CML.	55
Tabela 14. Índices de exactidão temática global e específica.	55

Tabela 15. Matriz de confusão da comparação do mapa de NDVI > 0.01 e mapa da CML.....	56
Tabela 16. Concordância entre mapas de NDVI e mapas de verde da CML, CA e CNA.....	57
Tabela 17. Estatística de regressão do mapa de nível de impermeabilização do solo.	58
Tabela 18. Indicadores de percentagem de área verde para as freguesias de Lisboa.	68
Tabela 19. Indicadores de área verde por habitante, nas freguesias de Lisboa.....	73
Tabela 20. Freguesias - Recta de regressão e estatísticas de correlação entre as variáveis, % de área verde e ano médio de construção dos edifícios.....	75
Tabela 21. Freguesias - Recta de regressão e estatísticas de correlação entre as variáveis, % de área verde e ocupação dos edifícios.	76
Tabela 22. Freguesias - Recta de regressão e estatísticas de correlação entre as variáveis, % de área verde e população empregada.	77
Tabela 23. Secções - Recta de regressão e estatísticas de correlação entre as variáveis, % de área verde e ano médio de construção dos edifícios.....	84
Tabela 24. Secções - Recta de regressão e estatísticas de correlação entre as variáveis, % de área verde e ocupação dos edifícios.	85
Tabela 25. Secções - Recta de regressão e estatísticas de correlação entre as variáveis, % de área verde e população empregada.	86
Tabela A1.1 Descrição das variáveis estatísticas dos censos de 2001 (Fonte: ISEG, 2005).	95
Tabela A2.1. Pontos de amostra por classe do mapa NDVI > -0.03 e classificação de referência, com base em imagem LISS III e mapa de áreas verdes da CML.	96
Tabela A2.2. Pontos de amostra por classe do mapa NDVI > -0.01 e classificação de referência, com base em imagem LISS III e mapa de áreas verdes da CML.	96

Tabela A2.3. Pontos de amostra por classe do mapa NDVI> 0.03 e classificação de referência, com base em imagem LISS III e mapa de áreas verdes da CML.	96
Tabela A2.4. Pontos de amostra por classe do mapa NDVI> 0.05 e classificação de referência, com base em imagem LISS III e mapa de áreas verdes da CML.	97
Tabela A2.5. Pontos de amostra por classe do mapa NDVI> 0.07 e classificação de referência, com base em imagem LISS III e mapa de áreas verdes da CML.	97
Tabela A2.6. Pontos de amostra por classe do mapa NDVI> 0.09 e classificação de referência, com base em imagem LISS III e mapa de áreas verdes da CML.	97
Tabela A2.7. Pontos de amostra por classe do mapa NDVI> 0.11 e classificação de referência, com base em imagem LISS III e mapa de áreas verdes da CML.	98
Tabela A2.8. Pontos de amostra por classe do mapa NDVI> 0.13 e classificação de referência, com base em imagem LISS III e mapa de áreas verdes da CML.	98
Tabela A3.1. Matriz de Confusão da comparação entre classificação de referência e mapa de NDVI> -0.03 cruzado com mapa de áreas verdes da CML.	99
Tabela A3.2. Matriz de Confusão da comparação entre classificação de referência e mapa de NDVI> -0.01 cruzado com mapa de áreas verdes da CML.	99
Tabela A3.3. Matriz de Confusão da comparação entre classificação de referência e mapa de NDVI> 0.03 cruzado com mapa de áreas verdes da CML.....	99
Tabela A3.4. Matriz de Confusão da comparação entre classificação de referência e mapa de NDVI> 0.05 cruzado com mapa de áreas verdes da CML.....	99
Tabela A3.5. Matriz de Confusão da comparação entre classificação de referência e mapa de NDVI> 0.07 cruzado com mapa de áreas verdes da CML.....	100
Tabela A3.6. Matriz de Confusão da comparação entre classificação de referência e mapa de NDVI> 0.09 cruzado com mapa de áreas verdes da CML.....	100
Tabela A3.7. Matriz de Confusão da comparação entre classificação de referência e mapa de NDVI> 0.11 cruzado com mapa de áreas verdes da CML.....	100
Tabela A3.8. Matriz de Confusão da comparação entre classificação de referência e mapa de NDVI> 0.13 cruzado com mapa de áreas verdes da CML.....	100

Tabela A4.1. Matriz de confusão da comparação do mapa de NDVI> -0.03 e mapa de verde da CML.....	101
Tabela A.4.2. Matriz de confusão da comparação do mapa de NDVI> -0.01 e mapa de verde da CML.....	101
Tabela A.4.3. Matriz de confusão da comparação do mapa de NDVI> 0.03 e mapa de verde da CML.....	101
Tabela A.4.4. Matriz de confusão da comparação do mapa de NDVI> 0.05 e mapa de verde da CML.....	102
Tabela A.4.5. Matriz de confusão da comparação do mapa de NDVI> 0.07 e mapa de verde da CML.....	102
Tabela A.4.6. Matriz de confusão da comparação do mapa de NDVI> 0.09 e mapa de verde da CML.....	102
Tabela A.4.7. Matriz de confusão da comparação do mapa de NDVI> 0.11 e mapa de verde da CML.....	103
Tabela A.4.8. Matriz de confusão da comparação do mapa de NDVI> 0.13 e mapa de verde da CML.....	103
Tabela A.5.1. Matriz de confusão da comparação do mapa de NDVI> - 0.03 e mapa de verde da CA.	104
Tabela A.5.2. Matriz de confusão da comparação do mapa de NDVI> - 0.01 e mapa de verde da CA.	104
Tabela A.5.3. Matriz de confusão da comparação do mapa de NDVI> 0.01 e mapa de verde da CA.	104
Tabela A.5.4. Matriz de confusão da comparação do mapa de NDVI> 0.03 e mapa de verde da CA.	105
Tabela A.5.5. Matriz de confusão da comparação do mapa de NDVI> 0.05 e mapa de verde da CA.	105
Tabela A.5.6. Matriz de confusão da comparação do mapa de NDVI> 0.07 e mapa de verde da CA.	105

Tabela A.5.7. Matriz de confusão da comparação do mapa de NDVI> 0.09 e mapa de verde da CA.	106
Tabela A.5.8. Matriz de confusão da comparação do mapa de NDVI> 0.11 e mapa de verde da CA.	106
Tabela A.5.9. Matriz de confusão da comparação do mapa de NDVI> 0.13 e mapa de verde da CA.	106
Tabela A.6.1. Matriz de confusão da comparação do mapa de NDVI> -0.03 e mapa de verde da CNA.	107
Tabela A.6.2. Matriz de confusão da comparação do mapa de NDVI> -0.01 e mapa de verde da CNA.	107
Tabela A.6.3. Matriz de confusão da comparação do mapa de NDVI> 0.01 e mapa de verde da CNA.	107
Tabela A.6.4. Matriz de confusão da comparação do mapa de NDVI> 0.03 e mapa de verde da CNA.	108
Tabela A.6.5. Matriz de confusão da comparação do mapa de NDVI> 0.05 e mapa de verde da CNA.	108
Tabela A.6.6. Matriz de confusão da comparação do mapa de NDVI> 0.07 e mapa de verde da CNA.	108
Tabela A.6.7. Matriz de confusão da comparação do mapa de NDVI> 0.09 e mapa de verde da CNA.	109
Tabela A.6.8. Matriz de confusão da comparação do mapa de NDVI> 0.11 e mapa de verde da CNA.	109
Tabela A.6.9. Matriz de confusão da comparação do mapa de NDVI> 0.13 e mapa de verde da CNA.	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localização da Área de Estudo – Freguesias de Lisboa (ISEGI, 2005).	15
Figura 2. Metodologia de produção de um mapa de espaços verdes.	20
Figura 3. Esquema de funcionamento do algoritmo ISODATA (ESRI, 2005).	24
Figura 4. Limite do Parque Silva Porto em formato vectorial e <i>raster</i> (CML/ DAEV, 2008).	25
Figura 5. Exemplos de pontos de amostra de percentagem de impermeabilização (IGP, 2004).	31
Figura 6. Localização de parques e jardins públicos, de Lisboa (CML, 2008).	33
Figura 7. Metodologia de cálculo de indicadores de áreas verdes por freguesia.	36
Figura 8. Metodologia de cálculo de indicadores de área verde por habitante, de cada freguesia.	36
Figura 9. Índice NDVI em Lisboa (Imagem LISS III, 2006).	40
Figura 10. Extractos de ortofotomapas e respectivo mapa de NDVI (IGP, 2004 / 2006).	40
Figura 11. Classificação Assistida (Imagem LISS III, 2006).	42
Figura 12. Classificação não Assistida (Imagem LISS III, 2006).	43
Figura 13. Mapa de áreas verdes produzido pela CML, em formato <i>raster</i> (CML/DAEV, 2008).	44
Figura 14. Limite de área verde do hospital de Santa Maria, no mapa original da CML (1) e limite com correcções (2) conforme ortofotomapa (CML/DAEV, 2008; IGP, 2004).	44
Figura 15. Exemplo de área verde em falta no mapa da CML (CML/DAEV, 2008; IGP, 2004).	44
Figura 16. Mapa com espacialização dos 200 pontos de amostra aleatórios.	45

Figura 17. Extractos do mapa de NDVI para os nove valores de limiar de verde.....	50
Figura 18. Relação entre valores de NDVI e percentagem de impermeabilização....	58
Figura 19. Mapa de impermeabilização do solo (Imagem LISS III, 2006).....	59
Figura 20. Freguesias de Lisboa - Percentagem de área verde.	61
Figura 21. Freguesias de Lisboa - Percentagem de área verde de parques e jardins públicos.	64
Figura 22. Freguesias de Lisboa - Percentagem de área verde privada ou de arruamentos.	64
Figura 23. Percentagem da área verde da freguesia que é de parques ou jardins públicos.	66
Figura 24. Percentagem da área verde da freguesia que é privada ou de arruamentos.	66
Figura 25. Freguesias de Lisboa - Índice de área verde por habitante.	71
Figura 26. Freguesias de Lisboa - Índice de área verde de parques e jardins públicos por habitante.	71
Figura 27. Freguesias de Lisboa - Índice de área verde privada ou de arruamentos por habitante.	72
Figura 28. Freguesias - Gráfico de dispersão descritivo da relação entre as variáveis, % de área verde e ano médio de construção dos edifícios.....	75
Figura 29. Freguesias - Gráfico de dispersão descritivo da relação entre as variáveis, % de área verde e ocupação dos edifícios.....	76
Figura 30. Freguesias - Gráfico de dispersão descritivo da relação entre as variáveis, % de área verde e população empregada.	77
Figura 31. Secções estatísticas de Lisboa - Percentagem de área verde.	79
Figura 32. Secções estatísticas de Lisboa - Percentagem de área verde de parques e jardins públicos.....	80

Figura 33. Secções estatísticas de Lisboa - Percentagem de área verde privada ou de arruamentos.	81
Figura 34. Secções estatísticas de Lisboa - Área verde por habitante.	82
Figura 35. Secções estatísticas de Lisboa - Área verde de parques e jardins públicos, por habitante.	83
Figura 36. Secções estatísticas - Área verde privada ou de arruamentos, por habitante.....	83
Figura 37. Secções - Gráfico de dispersão da relação entre as variáveis, % de área verde e ano médio de construção dos edifícios.	84
Figura 38. Secções - Gráfico de dispersão da relação entre as variáveis, % de área verde e ocupação dos edifícios.	85
Figura 39. Secções - Gráfico de dispersão da relação entre as variáveis, % de área verde e população empregada.....	86

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

A existência de espaços verdes nas grandes cidades é cada vez mais uma preocupação das entidades responsáveis pelo planeamento e ordenamento do território, atendendo à melhoria de qualidade de vida que podem proporcionar (Badawi *et al.*, 2005). Os benefícios da existência de espaços verdes nas cidades reflectem-se não só ao nível de actividades de lazer para os habitantes, mas também no aumento da qualidade do ar, na redução da temperatura, criação de espécies e conservação de energia. Para muitas pessoas, os espaços verdes são um símbolo de tranquilidade, redução do stress e ambiente limpo. A procura de espaços verdes é feita para os mais diversos fins, como o desporto, educação, convívio e lazer em geral (Leeuwen *et al.*, 2003).

No concelho de Lisboa é notório o contraste entre áreas onde a população pode usufruir de espaços verdes, nos seus tempos livres, e áreas onde, quer a localização, quer a dimensão desses espaços está muito aquém das necessidades da população. Esta situação deve-se principalmente ao facto de a criação de espaços verdes depender muitas vezes dos terrenos que restam depois de construídas as urbanizações e não das carências da população. Será de extrema importância analisar a existência de espaços verdes em Lisboa, de modo a criar indicadores que demonstrem a distribuição de área verde na cidade. Os resultados desta análise podem ser cruzados com dados dos censos de 2001 para verificar se existe relação entre espaço verde, características da população residente e características de edificado.

Outro aspecto importante para a qualidade de vida da população é o nível de impermeabilização do solo, uma vez que condiciona a infiltração da água aumentando o risco de ocorrência de cheias. A água da chuva que deveria alimentar os lençóis freáticos não penetra no solo, afectando assim a quantidade e qualidade da água para aproveitamento humano. A existência de espaços verdes está relacionada com o índice de impermeabilização, já que, nas áreas ocupadas por vegetação, o solo absorve com maior facilidade a água.

Hoje em dia, o manuseamento de dados geográficos e respectiva caracterização podem ser feitos com grande facilidade, recorrendo a tecnologias de Detecção Remota (DR) e Sistemas de Informação Geográfica (SIG) que têm aplicação em vários domínios, sendo um dos principais o planeamento e ordenamento do território. “Os espaços verdes constituem parte integrante da concepção de uma área urbana e, como tal, deverão ser considerados no planeamento e gestão urbanística” (DGOT, 1992). O processo de planeamento e gestão depende de informação actualizada e dinâmica sempre disponível em tempo útil, sendo notória a importância que um SIG pode ter na organização e localização de espaços verdes e em outra informação geográfica na cidade de Lisboa. Estes sistemas permitem um processo periódico de planeamento e gestão, adaptando-se às constantes transformações que a realidade nos apresenta (Jensen *et al.*, 2004).

1.2 Objectivos

Este trabalho tem como principal objectivo testar metodologias de extracção de informação, a partir de imagem de satélite LISS III, que permitam identificar a área ocupada por espaços verdes em Lisboa. Foi escolhido o concelho de Lisboa, uma vez que se pretende que o presente estudo tenha continuidade no município, utilizando imagens IKONOS com 1 m de resolução e Quickbird com 0.63 m de resolução. A Câmara Municipal de Lisboa (CML) é uma das instituições participantes no projecto de investigação científica: “GeoSat - Metodologias para extracção de informação GEOgráfica a grande escala a partir de imagens de SATélite de alta resolução”. O projecto GeoSat tem como objectivo testar metodologias de extracção de informação geográfica a partir de imagens de satélite, para produzir dados geográficos necessários à produção de cartografia temática e à actualização de cartografia base existente no município.

Como a utilização de imagem de satélite para produção de informação geográfica será futuramente um dos métodos de trabalho da CML, definiram-se os seguintes objectivos para a dissertação:

- Analisar metodologias de extracção de informação de espaços verdes a partir da imagem LISS III;
- Verificar a exactidão dos mapas criados pelos vários métodos de extracção de áreas verdes;

- Criar um mapa de impermeabilização da cidade com base no mapa de espaços verdes;
- Calcular indicadores de área verde por freguesia e secção estatística;
- Analisar a possível relação entre a existência de espaços verdes e os dados dos censos de 2001, que caracterizam população residente e edificado;

1.3 Abordagem metodológica

Pretende-se utilizar imagens de satélite LISS III para avaliação de áreas verdes existentes em Lisboa. Para tal, será elaborada classificação assistida (CA), classificação não assistida (CNA) e cálculo do índice NDVI, com o *software* ArcGIS Spatial Analyst. Cada mapa resultante destas operações será comparado com o mapa de áreas verdes cartografadas pelo município, no que refere a limites de parques e jardins públicos e outras áreas verdes existentes na cidade, não só de gestão municipal, como privada. As várias bases geográficas de trabalho serão submetidas a operações de validação e verificação de exactidão. Com base no mapa de área verde com melhor exactidão, será feito um mapa de nível de impermeabilização do solo, uma vez que a impermeabilização está directamente relacionada com a existência de áreas verdes. Para este procedimento serão utilizadas métodos de análise de regressão linear.

Os indicadores de áreas verdes por freguesia e secção estatística serão calculados com base no mapa de áreas verdes que apresentar melhor exactidão. A sua espacialização por freguesia permitirá ter uma visão global da existência de espaços verdes na cidade e por secção estatística possibilitará observar com maior detalhe como se distribuem os espaços verdes dentro de cada freguesia. Da análise de correlação entre indicadores de espaços verdes e variáveis dos censos, serão tiradas conclusões quanto à possível relação entre a existência de áreas verdes, características da população residente e edificado existente.

1.4 Organização da Tese

O presente documento encontra-se estruturado em seis capítulos. O primeiro capítulo é introdutório e contém o enquadramento da tese, onde se tenta apresentar uma abordagem geral dos objectivos e conclusões a conseguir no final do trabalho.

No segundo capítulo encontra-se a revisão bibliográfica referente a métodos de análise de espaços verdes em meios urbanos através de imagens de satélite, métodos utilizados em estudos de impermeabilização do solo e análise de indicadores em meios urbanos, demonstrativos da importância de existência de espaços verdes nas cidades.

No terceiro capítulo é apresentada a área de estudo, dados utilizados e sua caracterização, quer de detecção remota quer de informação auxiliar e tanto alfanumérica como gráfica.

No capítulo quatro é apresentada a metodologia de extração de áreas verdes a partir de imagem de satélite LISS III, verificação de exactidão e comparação dos mapas obtidos. Após determinação do mapa de áreas verdes com maior exactidão, apresenta-se a metodologia de análise de regressão linear para obter um mapa de nível de impermeabilização do solo. O capítulo termina com a apresentação do método de cálculo de indicadores de áreas verdes, por freguesia e secção estatística, e com o estudo de correlação entre os indicadores calculados e variáveis dos censos de 2001.

O capítulo cinco contém a discussão de resultados obtidos com os vários métodos de extração de informação da imagem LISS III. Pretende-se concluir qual o melhor método de análise de espaços verdes e verificar a sua exactidão. Apresentam-se também os resultados do modelo de regressão linear que dá origem ao mapa de nível de impermeabilização do concelho. Este capítulo apresenta também os indicadores de espaços verdes calculados, por freguesia e secção estatística, e sua relação com variáveis dos censos.

O último capítulo de conclusões apresenta a descrição de aspectos positivos e negativos dos dados e da metodologia utilizados, bem como dificuldades encontradas e possíveis aspectos a melhorar.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DE MÉTODOS PARA ANÁLISE DE ESPAÇOS VERDES EM MEIOS URBANOS, COM TÉCNICAS DE DETECÇÃO REMOTA

A pesquisa de literatura sobre métodos para identificar e caracterizar espaços verdes em meios urbanos, a partir de detecção remota, revela que as imagens de satélite são de extrema importância, quanto a rapidez e exactidão, na tarefa de cartografar áreas verdes e outro tipo de ocupação do solo. Os estudos têm vários objectivos, sendo os mais relevantes definir metodologias para cartografar áreas verdes, testar a exactidão dos mapas obtidos, verificar a existência de relação entre predominância de áreas verdes e características sócio-económicas da cidade e analisar o nível de impermeabilização do solo.

2.1 Metodologias para cartografar áreas verdes em meios urbanos

Lo e Faber (1997), tiveram como objectivo analisar a qualidade de vida em Athens-Clarke County, Geórgia, com base em variáveis de ambiente, extraídas de imagem de satélite Landsat (1990), e variáveis sócio-económicas dos censos de U.S. de 1990. As variáveis ambiente extraídas foram a temperatura de superfície, ocupação/uso do solo e NDVI calculado com a fórmula $NDVI = (TM4 - TM3) / (TM4 + TM3)$. A variável ocupação/uso do solo foi obtida por classificação assistida com o algoritmo da máxima verosimilhança. A classificação assistida necessitou de selecção de amostras para as seguintes classes: água, floresta, agricultura para pasto, agricultura para colheita, baixa densidade residencial e alta densidade residencial. A verificação da exactidão do mapa ocupação/uso do solo foi feita por comparação com fotografias aéreas pancromáticas de 1990, à escala 1/18000, onde foram observados 460 pontos de amostra e a exactidão global encontrada foi de 74%. As variáveis ambiente obtidas a partir da imagem de satélite foram mais tarde introduzidas num SIG e representadas na base geográfica de Athens-Clarke, dividida em "*block groups*", formato ArcInfo, em conjunto com outras variáveis.

Luchiari (2001), teve como objectivo identificar a cobertura vegetal em São Paulo, Brasil, utilizando imagens TM LANDSAT (bandas 3, 4 e 5) e imagens SPOT (banda pancromática). Foi efectuada correcção geométrica e fusão das imagens, resultando novas imagens que possibilitaram gerar uma composição colorida com resolução espacial mais refinada. A análise da composição colorida e da fotografia aérea

permitiu seleccionar amostras de treino necessárias à classificação da imagem. O algoritmo de máxima verosimilhança foi utilizado para a classificação assistida, onde foram identificadas cinco classes de cobertura: água, solo exposto, urbana, vegetação arbustiva e vegetação arbórea. A verificação da exactidão do mapa da classificação foi feita por comparação visual com fotografias aéreas e trabalho de campo. No estudo não é referido o número de amostras utilizado na verificação de exactidão, nem o valor do índice de exactidão global dos mapas criados.

Nichol e Lee (2004), pretenderam quantificar a vegetação urbana de Hong Kong, utilizando imagens de satélite IKONOS com 4 metros de resolução e fotografia aérea em falsa cor com 0.5 metros de resolução, com o objectivo de comparar os resultados obtidos pelos dois tipos de imagens. Calcularam o índice NDVI com a imagem IKONOS e com a foto aérea digital, utilizando as bandas do vermelho e do infravermelho próximo. A imagem IKONOS necessitou de correcção atmosférica e, para a foto aérea, foi necessário proceder à normalização das suas bandas para as bandas da imagem IKONOS. Os autores analisaram várias classes de vegetação e calcularam parâmetros de cobertura e densidade de vegetação. Os resultados obtidos permitiram-lhes concluir que existe possibilidade de utilização de imagens IKONOS, para análise de vegetação em meios urbanos, com uma precisão semelhante à das fotos aéreas em falsa cor.

Liu e Kafatos (2004), têm como área de estudo Maryland, US, e analisam métodos para reduzir erros no cálculo de índices de vegetação, em imagens onde existe um misto de áreas com e sem vegetação. O estudo é realizado com imagem Multi-angle Imaging SpectroRadiometer (MISR) com 1.1 Km de resolução e imagem classificada de ocupação do solo com 30 metros de resolução. A imagem classificada resultou de uma combinação de imagem Landsat (ETM+) bandas do visível, infravermelho próximo e infra vermelho curto, com uma imagem Radarsat C-band HH Synthetic Aperture Radar (SAR). Foi feita análise visual de áreas de 1.1 km x 1.1 km com diferentes ocupações de solo, sobre fracções de 30 m da imagem classificada, de modo a identificar os *pixels* em MISR que apresentam dúvida quanto à sua classificação. Foram recolhidas cerca de 70 amostras onde existe "mistura" espectral e elaborado um perfil espectral da imagem MISR. Para cada amostra espectral de "mistura" de *pixels*, foram calculados os índices NDVI e Índice de Vegetação Aumentado (EVI). O índice EVI foi calculado com a fórmula: $EVI = 2.5 (NIR - Red) / (L$

+ NIR +C1 Red - C2 Blue). Como resultado final obtiveram uma tabela com a comparação de variação de NDVI e EVI.

Jensen *et al.* (2004), realizaram um estudo para Terre Haute, Indiana, US, com o objectivo de analisar a qualidade de vida, em meio urbano, avaliando a relação entre as condições socioeconómicas da população e a existência de vegetação. As imagens de satélite utilizadas foram ASTER (Julho de 2001) e Decagon AccuPAR (Julho /Agosto de 2001). Os autores calcularam o índice LAI - "*Leaf area index*" que representa a vegetação quantificada em m² de folhagem por m² de solo. Como resultado final, obtiveram um mapa com os pontos LAI medidos na imagem de satélite.

Badawi *et al.* (2005), tiveram como objectivo analisar a área e tipo de vegetação existente em Taining Nanjing, China, para futuramente poderem planejar o espaço verde necessário a uma boa qualidade de vida na região. Os autores utilizaram imagens IKONOS para elaboração de mapas com a vegetação existente, através de dois métodos: índice NDVI e índice de reflectância do infra-vermelho próximo e vermelho, calculado com a fórmula IR/R. Como resultado final, Badawi *et al.*, apresentaram, não só mapas para cinco áreas da cidade com a representação da vegetação obtida pelos dois métodos testados mas também tabelas com um índice de percentagem de área verde existente nos cinco locais de estudo, obtido pelos dois métodos de análise de espaços verdes. Os autores concluem que o segundo método descreve melhor as áreas verdes existentes, embora apresente valores próximos do primeiro.

Filho *et al.* (2005), avaliaram o uso de imagens aéreas de videografia aérea multiespectral de alta resolução, de Maio de 2003 (nove cenas com 570m x 421 m, cada uma referente a um bairro da cidade), para aquisição de dados sobre qualidade de desenho urbano e sua floresta, em nove bairros da cidade de Piracicaba, São Paulo. As imagens foram sujeitas a correcção geométrica, georeferenciação e análise de pixel para determinação dos valores de níveis de cinza. Foi efectuada classificação assistida das cenas, com o algoritmo de máxima verosimilhança, que permitiu diferenciar as seguintes classes de ocupação do solo: água, asfalto, piso de cimento, copa de árvores, herbáceas, solo nu, cobertura de edifícios clara e escura e telhados com diferentes tipos de telha. As amostras necessárias à classificação assistida foram verificadas com base em ortofotomapas e trabalho de campo. A

avaliação da exactidão dos mapas obtidos para os nove bairros apresentou valores de índice de exactidão global e de índice Kappa, respectivamente de 83.55 – 91.81% e 80.70 – 89.95%. Os autores não referem o número de amostras utilizadas na verificação da exactidão.

Stathopoulou e Cartalis (2006), tiveram como objectivo elaborar um mapa indicativo de qualidade de vida em Atenas, Grécia, onde um dos aspectos a avaliar foi a existência de espaços verdes. O estudo foi feito a partir de imagem de satélite Landsat 7 (ETM+) com 60 metros de resolução, cuja correcção do efeito da atmosfera foi efectuada com o método “COST”, desenvolvido por Chavez. Os autores estudaram as seguintes variáveis ambiente: índice NDVI, temperatura de superfície e mapa de uso/ocupação do solo. As duas primeiras variáveis foram extraídas da imagem de satélite e o mapa de uso/ocupação do solo é proveniente da base Corine Land Cover 2000 (CLC00).

Mennis (2006), pretendeu avaliar a densidade de vegetação existente em Denver, Colorado, utilizando imagens Landsat 7 ETM+. Na metodologia aplicada, a imagem foi orto-rectificada, tendo posteriormente sido calculado o índice NDVI. A carta de ocupação do solo utilizada foi a da *U.S. Geological Survey (USGS) Front Range Infraestruturas Resources Project (FRIRP)*, e as classes utilizadas foram: água, vegetação, residencial, industrial, comércio/indústria e misto urbano que inclui residencial e comércio/indústria. O mapa de NDVI foi combinado com a carta de ocupação/uso do solo tendo depois sido analisadas as diferenças existentes nas áreas ocupadas por vegetação. Como resultado final obtiveram mapas de NDVI e de classes de ocupação do solo. Com base nestes mapas, foram determinados os índices de percentagem de espaços verdes e de ocupação das classes água, solo nu, áreas residenciais e não residenciais.

Li e Weng (2006), tiveram como área de estudo Marion County (Indianapolis), Indiana, USA, e pretenderam desenvolver uma metodologia para extrair variáveis indicativas de vegetação e de ocupação/uso do solo, através de imagem Landsat (ETM+). A metodologia incluiu o cálculo do índice NDVI e da temperatura de superfície. Utilizaram a técnica de análise de misturas espectrais (SMA) para resolver o problema da mistura de *pixels* que podia gerar confusão no processo de classificação da imagem e de divisão entre área de vegetação e áreas impermeabilizadas.

Moeller e Blaschke (2006), pretenderam estimar a vegetação existente em Scottsdale, AZ, USA, a partir de uma imagem Quickbird multiespectral e de uma imagem "*pan-sharpened*", para posteriormente analisarem a percentagem de vegetação afectada a cada edifício. Os autores corrigiram a imagem de efeitos da atmosfera (névoa, pó), obtiveram a fusão das imagens pancromática e multiespectral, utilizando algoritmo *Intensity Hue Saturation* (IHS), e classificaram a imagem quanto ao uso e ocupação do solo, de modo a distinguir edifícios, solo nu e vegetação. Calcularam o índice *Fraction of Surrounding Vegetation* (FSV) para cada edifício e, a partir do seu *centroid*, estabeleceram classes de *buffers* de 10 em 10 metros, quantificando a vegetação dentro de cada *buffer*. Como resultado final obtiveram a percentagem de índice FSV de cada edifício.

Rodrigues e Luz (2007), elaboraram cartografia que quantificou a cobertura vegetal nos distritos urbanos que compõem a área central do município de Belém, PA, com técnicas de Detecção Remota. As imagens utilizadas foram Landsat 5, sensor TM de 1984 e CBERS sensor CCD de 2004, apresentando dados multitemporais de 20 anos. Numa primeira fase, através do cálculo do índice NDVI entre os anos 1984 e 2004, verificaram a evolução temporal da cobertura vegetal na área central de Belém. Classificaram as imagens quanto à ausência, baixa densidade, média densidade e alta densidade da vegetação, e também quanto a áreas urbanas e áreas de sombras. Numa segunda fase, foi feita classificação assistida com o algoritmo da máxima verosimilhança que utilizou amostras escolhidas com base em cartas topográficas e ortofotomapas de 2000. O mapa obtido apresentou a quantificação do total da cobertura vegetal e de área urbana.

Estes estudos demonstram que vários autores têm vindo a propor a utilização de imagem de satélite para cartografar áreas verdes em meios urbanos. A maior parte dos estudos utiliza imagens Landsat, mas o tipo de imagem utilizado é muito variado. Quanto às metodologias utilizadas, verificou-se que o cálculo do NDVI e a classificação assistida com o algoritmo da máxima verosimilhança são das técnicas mais utilizadas em extracção de áreas verdes e classes de ocupação do solo em meios urbanos. Os ortofotomapas e fotografia aérea são de extrema importância na fase de definição de amostras para a classificação assistida e na fase de verificação da exactidão dos mapas obtidos. Os índices de exactidão global e índice Kappa são

calculados em vários estudos, no entanto, alguns autores não referem os índices calculados nem o valor obtido.

2.2 Relação entre existência de áreas verdes e características sócio-económicas da população

Lo e Faber (1997), pretendiam determinar um índice de qualidade de vida em Athens Clarke County, Georgia, com base no cruzamento de variáveis extraídas de imagem de satélite (uso/ocupação do solo, NDVI, temperatura de superfície), com variáveis sócio-económicas dos censos de U.S. de 1990 (densidade populacional, nível escolar, valor médio dos alojamentos e rendimento per-capita). Com um SIG, as variáveis foram divididas num *ranking* de 10 classes, indicativas de qualidade de vida, e foram criados mapas com a sua espacialização, na base geográfica de limites administrativos de Athens Clarke. Foram efectuados estudos de correlação entre os dois tipos de variáveis, tendo-se concluído que existe uma forte correlação negativa entre NDVI e percentagem de uso/ocupação do solo e que a mesma situação se verifica entre o NDVI e a temperatura. No entanto, entre NDVI e as variáveis rendimento per-capita, valor médio dos alojamentos e nível escolar superior concluiu-se que existe uma forte correlação positiva.

Luchiari (2001), teve como objectivo identificar a cobertura vegetal em São Paulo, Brasil, com imagem de satélite, e analisar a relação existente entre quantidade de vegetação, distribuição das edificações e características sócio-económicas da população, (renda familiar média e ordenados mínimos). A imagem classificada, o mapa de quadras e o mapa de bairros foram submetidos a operações de tabulação cruzada (*Cross Tabulation*), gerando uma tabela com as classes de uso do solo e os bairros em que se encontram. Como resultado final obteve um mapa de densidade de vegetação (cartograma com quatro classes de cobertura vegetal de cada bairro), em conjunto com as características sócio-económicas da população. O autor concluiu que a quantidade de vegetação está relacionada com as características sócio-económicas da população, existindo um estreito relacionamento entre a densidade de vegetação e o rendimento familiar da população residente.

Jensen *et al.* (2004), realizaram um estudo com o objectivo de analisar a qualidade de vida em meio urbano, avaliando a relação entre as condições sócio-económicas da população e a existência de vegetação, utilizando técnicas de Detecção Remota e

dados dos censos de 2000. As variáveis dos censos utilizadas foram: densidade populacional, renda média e valor médio das habitações. Efectuaram estudos de correlação entre o índice *Leaf Area Index* (LAI) e as variáveis sócio-económicas da população, verificando que existe correlação positiva entre o índice LAI e as variáveis densidade da população, renda média e valor médio das habitações.

Filho *et al.* (2005), utilizaram imagens aéreas multiespectrais para avaliar a vegetação existente em nove bairros de Piracicaba, Brasil. Os autores tiveram como objectivo calcular índices de floresta urbana e verificar a sua relação com variáveis sócio-económicas dos censos. Os dados dos censos utilizados foram: densidade populacional, total de pessoas com mais de quinze anos de escolaridade e total de chefes de família com rendimento acima de vinte ordenados mínimos nacionais. Calcularam índices de proporção entre espaço livre arborizado e espaço livre impermeabilizado, e de proporção entre espaço livre arborizado e espaço livre construído e obtiveram um índice de floresta urbana que resultou do somatório dos dois anteriores índices. Como resultados finais obtiveram uma tabela com proporções relativas das classes de cobertura do espaço intra-urbano, para os nove bairros, e gráficos com a variação da densidade populacional e espaço livre arborizado. Efectuaram estudos de correlação entre os indicadores de vegetação e variáveis sócio-económicas, encontrando correlação negativa entre densidade populacional e os índices calculados.

Stathopoulou *et al.* (2006), tiveram como objectivo analisar o ambiente urbano e obter um índice de qualidade de vida em Atenas, Grécia, expresso numa escala média que, através de um SIG, combina dados provenientes de imagem de satélite Landsat 7 (ETM+) e dados sócio-económicos dos censos de 2001. As variáveis dos censos utilizadas foram: densidade populacional, nível escolar, valor médio dos alojamentos e taxa de desemprego. Elaboraram cartografia de ocupação/uso do solo com as seguintes classes: fábricas, comércio, extracção mineral, áreas verdes e lazer, agricultura, floresta e água. As diversas variáveis sócio-económicas e as classes de ocupação do solo foram avaliadas quanto ao seu contributo positivo ou negativo, para a qualidade de vida da população. Como resultado final obtiveram cartografia com a agregação das variáveis "biofísicas" e variáveis socioeconómicas, indicando cinco classes de qualidade de vida em Atenas, que permitiram concluir quais as áreas da cidade com melhor ou pior qualidade de vida.

Mennis (2006), pretendeu investigar a relação entre a situação sócio-económica da população e a densidade de vegetação existente em Denver, Colorado. Os dados sócio-económicos utilizados foram densidade populacional, renda média de alojamentos, nível educacional, número de quartos por alojamento, idade e valor dos alojamentos. Elaborou mapas Coropletos, com espacialização das variáveis biofísicas e socioeconómicas, e utilizou técnicas de *Data Mining*, para avaliação da relação entre variáveis, que lhe permitiram tirar conclusões quanto ao facto da densidade de vegetação estar relacionada com as condições sócio-económicas da população.

Li e Weng (2006), desenvolveram uma metodologia que permite integrar em SIG dados de Detecção Remota e dados dos Censos, de modo a analisar a qualidade de vida em Indianopolis. As variáveis dos censos utilizadas foram: densidade populacional, densidade residencial, renda familiar média, renda média de alojamentos antigos, renda per-capita, valor médio das habitações, valor médio do número de quartos, percentagem de grau académico, taxa de desemprego e percentagem de famílias abaixo do nível de pobreza. Os dados provenientes da classificação das imagens foram agregados aos limites administrativos dos censos e foram calculados valores médios para cada limite, permitindo a espacialização das diversas variáveis estudadas e o estabelecimento de correlação entre elas. Da agregação das variáveis ambientais e socioeconómicas resulta um mapa síntese da distribuição de um índice de qualidade de vida.

Rodrigues e Luz (2007), com o estudo realizado, elaboraram cartografia que quantificou a cobertura vegetal nos distritos urbanos que compõem a área central do município de Belém, PA. Os autores utilizaram dados da população, referentes a densidade populacional e seus rendimentos, para obter a comparação entre a distribuição da percentagem de população e percentagem de vegetação, em mapas com os limites administrativos da região.

Estes estudos demonstram que vários autores analisam a possível relação entre existência de áreas verdes em meios urbanos e as características sócio-económicas da população. A maior parte dos estudos utiliza variáveis provenientes dos censos, sendo as mais comuns a densidade populacional, o nível escolar, a taxa de desemprego, o valor médio das habitações, e o rendimento familiar. Quanto às

metodologias utilizadas, os estudos de correlação são os métodos mais usadas para avaliar a relação existente entre variáveis.

2.3 Análise do nível de impermeabilização do solo

Uma superfície impermeável não deverá permitir infiltração de água e está normalmente associada a vias, edifícios, parques de estacionamento, e outras construções (Yuan e Bauer, 2006). Um mapa de impermeabilização do solo deverá apresentar uma estimação da percentagem de impermeabilização, de cada elemento pertencente à área em estudo.

Bauer *et al.* (2004), realizaram um estudo de análise de impermeabilização do solo, na área metropolitana de Minnesota, composta por sete cidades, com imagem Landsat de 1986, 1991, 1998 e 2000. Com um modelo de regressão linear, estimaram a percentagem de impermeabilização do solo proporcionalmente à área de espaços verdes existentes. As imagens foram rectificadas e classificadas, tendo havido o cuidado de separar as áreas rurais das áreas urbanas. A classificação aplicada foi uma combinação do método não assistido com o assistido, tendo sido utilizado o classificador da máxima verosimilhança em imagens com datas de diferentes meses para os diversos anos, e tendo sido obtido um índice Kappa superior a 90%. Foram escolhidos 10 locais correspondentes a áreas impermeáveis e permeáveis e a percentagem de impermeabilização que lhes foi atribuída esteve de acordo com a observação feita em ortofotomapas, variando de 0 a 100%. Para os 10 locais representativos de percentagem de impermeabilização foram digitalizados polígonos e criada uma *shapefile* em Arcview, que posteriormente foi utilizada no *software* ERDAS para determinar uma superfície de impermeabilização. Esta superfície foi analisada com um *software* de estatística e foi aplicado um modelo de regressão de 2ª ordem, considerando as áreas verdes como variável independente (X) e a percentagem de impermeabilização variável dependente (Y), escalada de 1 a 100 %. O coeficiente R^2 e o erro padrão foram utilizados para averiguar a relação entre as duas variáveis. O *software* ERDAS foi utilizado para transformar a superfície de áreas verdes em superfície de impermeabilização, baseando-se no modelo de regressão linear. A superfície final foi combinada com uma máscara que filtrou as áreas onde existe água e solo nu.

Bauer *et al.* (2007), realizaram um estudo semelhante ao efectuado em 2004 onde estudaram a impermeabilização do solo em Minnesota, utilizando imagem Landsat TM/ETM+ de duas épocas, 1990 e 2000. Foi feita classificação da imagem e foi obtido um mapa de ocupação do solo, ao qual posteriormente foi aplicado um modelo de regressão para captar a percentagem de impermeabilização, a partir da localização de espaços verdes. A imagem Landsat apresentou áreas com nuvens e sombras escuras, pelo que foi necessário aplicar máscaras a essas áreas, tendo sido atribuído valor zero aos *pixels* correspondentes. Foi feita classificação da imagem Landsat, obtida no Verão e Primavera de 2000, com o classificador K-nearest, tendo as classes obtidas sido: agricultura, relva, floresta, solo húmido, água e zona urbana. Da verificação de exactidão deste mapa encontraram-se, para os índices de produtor e utilizador, valores de, respectivamente, 91.7% e 95.4%. Para o índice Kappa encontrou-se o valor de 84.5%. Para o modelo de regressão foram escolhidos 50 pontos de amostra que se situassem em áreas de edifícios, vias, parques de estacionamento e espaços verdes. O modelo ideal de superfície de impermeabilização deveria apresentar valores de 0 a 100%. No entanto, o mapa criado apresentou valores fora deste intervalo. Para corrigir esta situação, os *pixels* que se encontravam fora deste intervalo foram reclassificados para valores exactos de 0 e 100%.

Estes estudos demonstram que os autores estimam o nível de impermeabilização do solo proporcionalmente às áreas verdes existentes. Com base em ortofotomapas ou em imagem de satélite, são escolhidas amostras às quais são atribuídos valores de percentagem de impermeabilização que devem variar de 0 a 100%. São aplicados modelos de regressão em que a variável dependente é a percentagem de impermeabilização e a variável independente são as áreas verdes. Devem ser avaliadas situações que apresentem nuvens, sombras, água e solo nu e, se necessário, devem-se aplicar máscaras a essas áreas, atribuindo-lhes valor zero.

3 ÁREA DE ESTUDO E DADOS UTILIZADOS

3.1 Área de estudo

A área de estudo onde se pretende fazer a análise de espaços verdes é o concelho de Lisboa que tem aproximadamente 84 Km² e, de acordo com os censos de 2001, um total de 1 326 207 habitantes. O concelho tem 53 freguesias (tabela 1) cujos limites estão representados na figura 1.

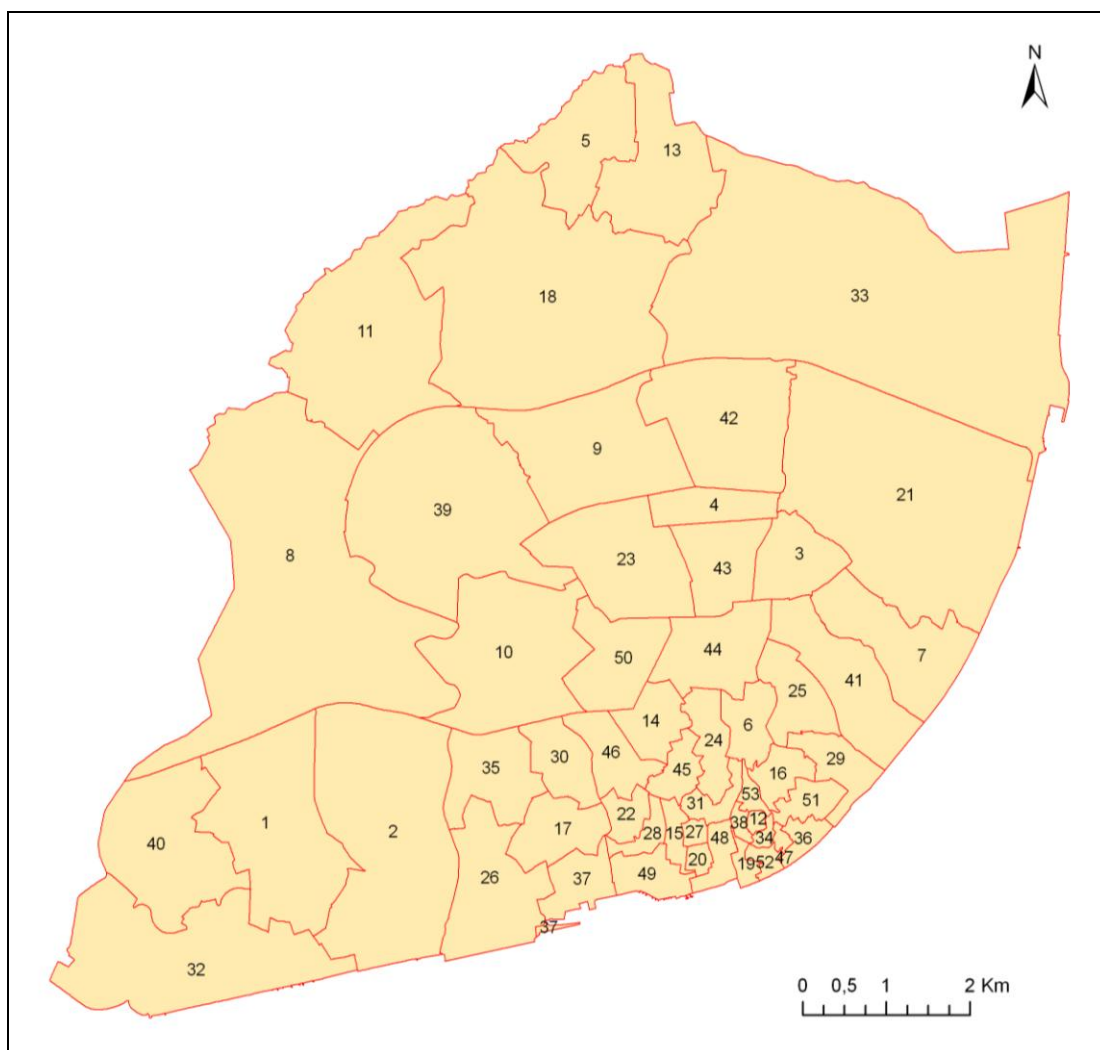


Figura 1. Localização da Área de Estudo – Freguesias de Lisboa (ISEGI, 2005).

	FREGUESIA		FREGUESIA
1	Ajuda	28	Santa Catarina
2	Alcântara	29	Santa Engrácia
3	Alto do Pina	30	Santa Isabel
4	Alvalade	31	Santa Justa
5	Ameixoeira	32	Santa Maria de Belém
6	Anjos	33	Santa Maria dos Olivais
7	Beato	34	Santiago
8	Benfica	35	Santo Condestável
9	Campo Grande	36	Santo Estevão
10	Campolide	37	Santos-o-Velho
11	Carnide	38	São Cristóvão e São Lourenço
12	Castelo	39	São Domingos de Benfica
13	Charneca	40	São Francisco Xavier
14	Coração de Jesus	41	São João
15	Encarnação	42	São João de Brito
16	Graça	43	São João de Deus
17	Lapa	44	São Jorge de Arroios
18	Lumiar	45	São José
19	Madalena	46	São Mamede
20	Mártires	47	São Miguel
21	Marvila	48	São Nicolau
22	Mercês	49	São Paulo
23	Nossa Senhora de Fátima	50	São Sebastião da Pedreira
24	Pena	51	São Vicente de Fora
25	Penha de França	52	Sé
26	Prazeres	53	Socorro
27	Sacramento		

Tabela 1. Freguesias de Lisboa (ISEGI, 2005).

3.2 Dados utilizados

Toda a informação geográfica utilizada nesta dissertação, de detecção remota ou informação auxiliar, foi trabalhada no sistema de coordenadas Hayford-Gauss Datum73, este sistema embora seja obsoleto para Portugal Continental, ainda é actualmente utilizado na CML. Os departamentos da CML, responsáveis pelo SIG que serve o município, têm como objectivo proceder brevemente à conversão dos dados geográficos, do sistema Hayford-Gauss Datum73 para o sistema *European Terrestrial Reference System* (ETRS89), uma vez que sistema ETRS89 é o recomendado pela *European Reference Frame* (EUREF), para ligação da rede portuguesa à rede europeia (IGP, 2009).

3.2.1 Dados de detecção remota

Para avaliação de áreas verdes do concelho de Lisboa utilizou-se uma imagem de satélite LISS III, obtida em 6 de Agosto de 2006, disponibilizada pelo Instituto Geográfico Português (IGP), no sistema de coordenadas International_1924_Transverse_Mercator.

O programa Indian Remote Satellites (IRS) da Índia, lançou vários satélites desde 1988, possuindo actualmente seis satélites operantes e em órbita e que são: IRS-1C, P2, P3, 1D, P4 e IRS P6 RESOURCESAT-1 (Embrapa, 2008). A Organização Indiana de Pesquisa Espacial (ISRO) lançou o satélite IRS P6 RESOURCESAT-1 com uma órbita hélió-síncrona a uma altitude de 817 km, e trata-se do satélite mais avançado construído pela ISRO. Este satélite apresenta uma melhoria significativa na qualidade dos dados e uma maior diversidade de aplicações, principalmente relacionadas com a vegetação e a caracterização de culturas e espécies vegetais. O IRS P6 RESOURCESAT-1 possui três sensores, LISS-IV, LISS-III, AWiFS, fornecendo respectivamente imagens com 5.8, 23.5m, e 56 m de resolução, nas bandas pancromáticas e multiespectral.

Características do Sensor LISS III		
Lançamento		17 / 10 / 2003
Imagens (Km)		140 x 140
Pixel		23.5
Resolução radiométrica (bits)		7 / 10
Bandas	Zona do espectro electromagnético	Intervalo de comprimento de onda (µm)
1	Verde	0.52 – 0.59
2	Vermelho	0.62 – 0.68
3	Infravermelho próximo	0.77 – 0.86
4	Infravermelho médio	1.55 – 1.70

Tabela 2. Características do Sensor LISS III.

3.2.2 Informação auxiliar

- Ortofotomapas produzidos a partir de fotografias aéreas da Direcção Geral dos Recursos Florestais (DGRF) e do IGP, com *pixel* de 50 cm, adquiridas entre Novembro de 2004 e Setembro de 2006, com câmara aérea digital;
- Base geográfica com limites de espaços verdes de Lisboa, em formato *shape file*, com respectiva informação alfanumérica, referente a utilização pública ou privada, toponímia, área e entidade gestora, disponibilizada pela CML/Departamento de Ambiente e Espaços Verdes;
- Base geográfica das freguesias e secções estatísticas de Lisboa, dos censos de 2001, em formato *shape file*. Estas bases geográficas não têm os limites oficiais utilizados na CML. No entanto, as variáveis alfanuméricas dos censos de 2001 caracterizam a população e edificado de acordo com estes limites.
- Variáveis dos censos de 2001 por freguesia e secção estatística:
 - Indivíduos
 - Total de população residente;
 - Residentes empregados;
 - Edifícios
 - Data de construção;
 - Uso residencial ou não residencial;

Na bibliografia consultada, os autores utilizam principalmente as variáveis rendimento familiar e valor médio das habitações, no entanto, para este trabalho, não foi possível ter acesso a essas variáveis para Lisboa. As variáveis utilizadas foram as que se encontravam disponíveis e que se consideraram pertinentes para analisar a possível relação com a existência de espaços verdes.

4 METODOLOGIA

Neste capítulo é apresentada a metodologia aplicada nas várias fases necessárias a este trabalho. Numa primeira fase, apresenta-se a metodologia utilizada para produção de um mapa de áreas verdes a partir de imagem de satélite LISS III. A produção do mapa de áreas verdes exigiu vários procedimentos, tendo os principais sido: extracção de informação da imagem, através do índice NDVI, classificação assistida e classificação não assistida, avaliação da exactidão dos mapas obtidos pelos três métodos de extracção de informação e, por fim, comparação entre mapas. Numa segunda fase, descreve-se a metodologia aplicada na produção de um mapa de índice de impermeabilização do concelho. Na terceira e última fase, apresenta-se a metodologia para cálculo de indicadores de áreas verdes por freguesia e secção estatística.

4.1 Produção de um mapa de áreas verdes

4.1.1 Metodologias de extracção de informação da imagem LISS III

A metodologia para extracção de informação das imagens de satélite é variada conforme o tipo de informação a obter. Pode-se dizer que existe a detecção remota quantitativa e a detecção remota temática. Na detecção remota quantitativa, alguns métodos baseiam-se em modelos empíricos que utilizam índices de vegetação; na detecção remota temática, a metodologia utilizada para extrair informação, principalmente ocupação/uso do solo, pode ser dividida em interpretação visual de imagens, classificação assistida e classificação não assistida. Independentemente do método utilizado, é sempre necessária validação e avaliação da qualidade dos mapas.

Para atingir o objectivo de produzir um mapa de áreas verdes de Lisboa, foi desenvolvida uma metodologia que se baseia em comparar vários mapas de espaços verdes, extraídos de diferentes formas da imagem LISS III, com o mapa de espaços verdes produzido na CML. Pretende-se concluir qual o melhor método para identificar áreas verdes e verificar qual dos mapas produzidos apresenta informação mais fiável, para o concelho de Lisboa.

Para compatibilização com as restantes bases geográficas utilizadas neste trabalho, a imagem de satélite foi sujeita a transformação de coordenadas, do

sistema International_1924_Transverse_Mercator para o sistema Hayford-Gauss Datum73. Após transformação de coordenadas, procedeu-se a uma metodologia que é composta por as seis etapas indicadas na figura 2:

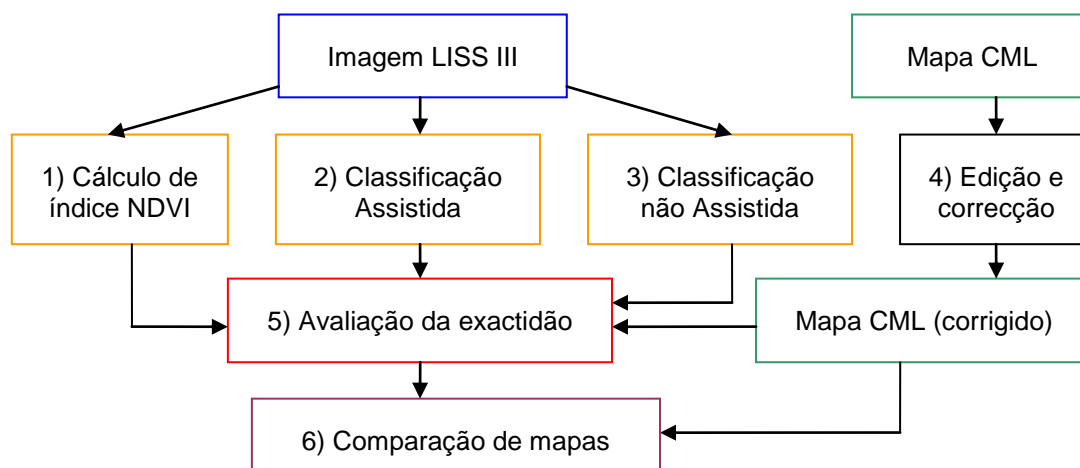


Figura 2. Metodologia de produção de um mapa de espaços verdes.

O índice de vegetação calculado foi o NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index*, tendo-se obtido um mapa com a estimação de áreas verdes existentes em cada *pixel*. Da classificação assistida e classificação não assistida derivaram mapas com uso/ocupação do solo para várias classes, sendo uma das classes os espaços verdes.

Uma vez que o mapa de espaços verdes da CML apresentou algumas incoerências na delimitação das suas áreas, foi necessário fazer edição do ficheiro disponibilizado, para posteriormente ser possível a sua comparação com outros mapas.

A avaliação da exactidão dos mapas produzidos baseou-se na sua comparação com um conjunto de pontos de amostra aleatórios, pontos esses, observados sobre ortofotomapas e classificados numa escala de percentagem de área verde. Com base nas amostras, foram feitas matrizes de confusão e cálculos de índices de exactidão temática global e específica: índice de exactidão temática do produtor (IEP), índice de exactidão temática do utilizador (IEU), erros de omissão, erros de comissão e índice de exactidão global.

A comparação entre mapas derivados da imagem LISS III e o mapa de espaços verdes da CML teve como objectivo verificar diferenças entre mapas e avaliar o seu nível de concordância, de modo a tentar definir qual deles se aproxima mais da realidade existente em Lisboa.

4.1.1.1 Cálculo de NDVI

A transformação de bandas tem como principal objectivo a análise das características de determinados elementos existentes na imagem, facilitando assim a extracção de informação. Uma das técnicas de transformação de bandas, utilizada neste trabalho, corresponde ao cálculo de índices de vegetação. Os índices de vegetação são combinações de duas ou mais bandas que permitem estimar a existência de vegetação na área abrangida por cada pixel (Huete, 1989). Para o seu cálculo, normalmente são utilizadas as bandas do vermelho e infravermelho próximo do espectro electromagnético, uma vez que a relação entre as reflectâncias das referidas bandas fornece indicações sobre a quantidade de vegetação (Lyon *et al.*, 1998). O índice mais utilizado é o NDVI porque é normalizado, variando os seus valores entre -1 e +1, o que torna a análise mais fácil pois são conhecidos os valores em que pode variar (Caetano, 2005). Com a imagem LISS III, o cálculo do índice foi realizado com a banda 2 (0.62 - 0.68 μm) e a banda 3 (0.77 – 0.86 μm):

$$\text{NDVI} = (\text{band3} - \text{band2}) / (\text{band3} + \text{band2})$$

Os valores de NDVI negativos correspondem, na maior parte dos casos, a locais onde existem construções ou água; nas áreas de valores de NDVI positivos encontra-se principalmente vegetação. Por comparação com os ortofotomapas, conclui-se que as áreas verdes existem a partir de valores próximos de zero. Uma vez que há dúvidas quanto ao valor de NDVI a partir do qual é considerada área verde, foram aplicados diferentes limiares para a definição de área verde, que correspondem ao seguinte conjunto de valores {-0.03, -0.01, 0.01, 0.03, 0.05, 0.07, 0.09, 0.11, 0.13}. Os mapas obtidos, com delimitação de área verde e não verde, foram sujeitos a métodos de avaliação de exactidão que se descreverão posteriormente.

4.1.1.2 Classificação Assistida

A classificação assistida foi realizada em duas etapas: na primeira, a fase de treino, foram escolhidas as amostras representativas de cada classe; na segunda fase procedeu-se à classificação da imagem.

A escolha de amostras para classificação de imagem foi efectuada por interpretação visual de imagens que consiste na identificação visual de áreas com a mesma classe de ocupação do solo e sua delimitação (Caetano, 2005). Nesta fase, a informação auxiliar é de extrema importância pois permite comparação com as imagens de satélite e facilita o trabalho do analista durante a fase de escolha de amostras. Para visualização, foi escolhida a composição de falsa cor 342, para a imagem LISS III, pois apresentou melhor definição das classes de interesse, ao ser comparada com os ortofotomapas. Foram extraídas 126 amostras de *pixels* para identificar cinco classes (vegetação, água, vias, edifícios, e pavimento), evitando *pixels* que estivessem na fronteira entre elementos de classes diferentes. A cada amostra atribuiu-se um código representativo da classe.

No procedimento de classificação é atribuída a todos os *pixels* da imagem uma classe definida previamente. Para tal utilizou-se o algoritmo de classificação da máxima verosimilhança, sendo este o mais utilizado em toda a bibliografia consultada. Como o algoritmo da máxima verosimilhança, parte do pressuposto que as bandas têm distribuição normal para cada amostra (Mather, 2004), a distribuição da amostra pode ser definida pelo vector média e co-variância. Para classificar cada *pixel*, o algoritmo calcula a probabilidade do *pixel* pertencer a cada uma das classes definidas na fase de extracção de amostras, sendo depois esse *pixel* atribuído à classe que apresentar o maior valor de probabilidade. Este classificador tem duas desvantagens, uma é ter um grande peso computacional, a outra é partir do pressuposto que os dados da amostra têm uma distribuição normal. Muitas vezes, a amostra escolhida não tem uma distribuição normal e os resultados obtidos não são tão bons como seriam de esperar.

Para a classificação assistida, foi utilizada a álgebra de mapas, na extensão Spatial Analyst do ArcGIS. Com este *software* é necessário que a imagem LISS III, composta por quatro bandas, esteja no formato *grid* e em *stack*. Primeiro foi criado um ficheiro assinatura (ficheiro ASCII - *American Standard Code for Information Interchange*), onde são guardados valores de estatística multivariada (média e

matriz de covariância) para cada classe, seguindo-se depois a aplicação do algoritmo da máxima verosimilhança, tendo sido considerada igual probabilidade de cada *pixel* pertencer a qualquer das cinco classes escolhidas.

4.1.1.3 Classificação não Assistida

A classificação não assistida tem também duas etapas: (1) produção de um mapa de *clusters*, (2) estabelecimento de correspondência entre *clusters* e classes necessárias ao estudo. Trata-se de uma classificação automática em que o utilizador não tem que definir previamente amostras. No entanto, terminada a classificação, o analista tem que identificar a que classe de ocupação pertence cada agrupamento de *pixels* (Mather, P., 2004). Esta análise é complexa pois, por vezes, a mesma classe, quando comparada com informação auxiliar, integra mais do que um tipo de ocupação de solo.

O mapa de *clusters*, ou de agrupamento de *pixels* semelhantes, foi criado com o *software* ArcGIS Spatial Analyst que utiliza um algoritmo do tipo ISODATA (*Interactive Self-Organizing Data Analysis Technique*). Trata-se de um método iterativo, onde cada iteração analisa todos os *pixels* da imagem e produz um ficheiro de assinatura espectral para cada classe obtida. A figura 3 ilustra o esquema de funcionamento do algoritmo que inicia com o número de *clusters* definidos pelo utilizador, escolhe aleatoriamente os centros dos primeiros pontos e calcula automaticamente as suas médias. Normalmente os *clusters* são distribuídos ao longo de uma linha diagonal no espaço da amostra. Em cada iteração, cada *pixel* é associado a um *cluster* com base na distância mínima, ou seja, o *pixel* é atribuído ao *cluster* cuja média é a mais próxima. Repete-se o procedimento anterior para todos os *pixels*, calculando a distância a todos os pontos centrais. Cada *pixel* é associado ao *cluster* cujo ponto central está mais próximo. No fim de cada iteração, o algoritmo calcula novamente a média de cada *cluster*, de modo a verificar a entrada e saída de *pixels*, e são definidos os pontos centrais dos novos *clusters*. O algoritmo pára quando os *pixels* já não mudam de *cluster* ou segundo o intervalo de pesquisa definido pelo utilizador.

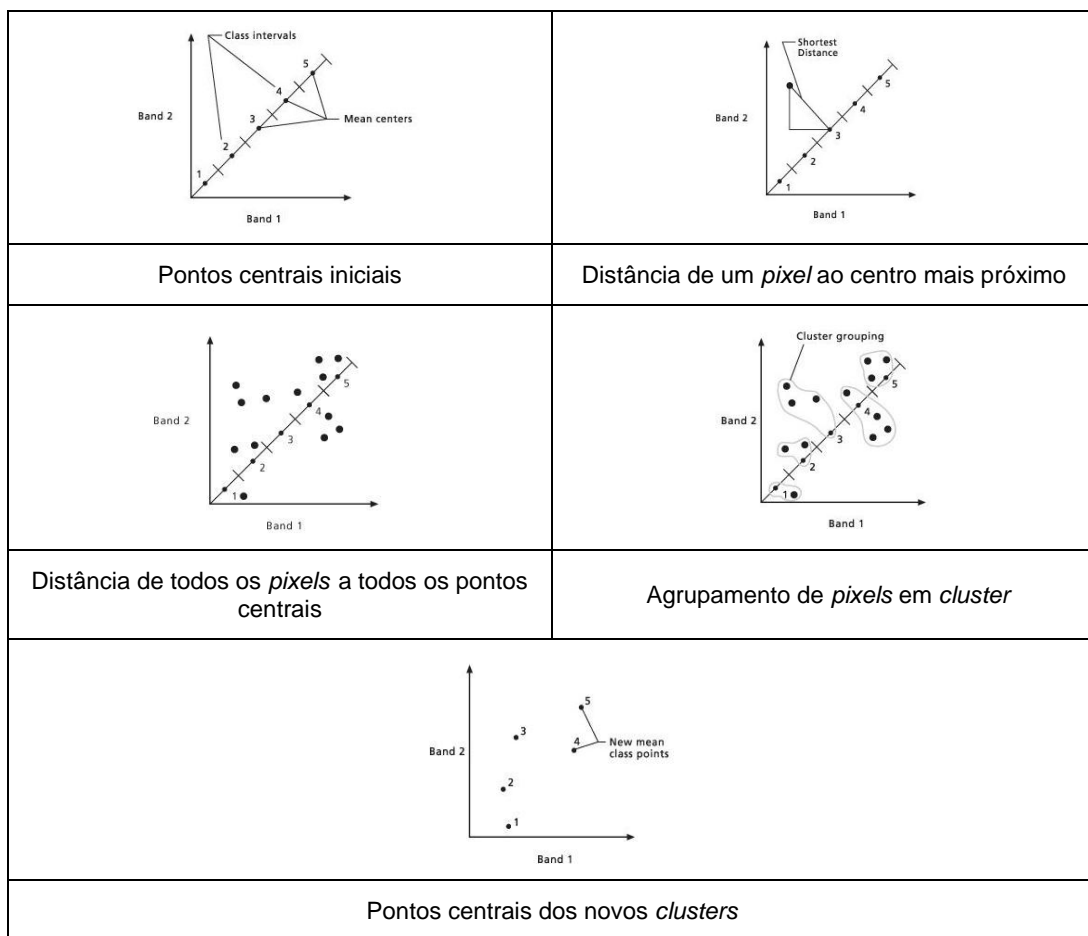


Figura 3. Esquema de funcionamento do algoritmo ISODATA (ESRI, 2005).

Para a classificação não assistida da imagem LISS III, o algoritmo do tipo ISODATA utilizou os seguintes parâmetros:

- Imagem LISS III com quatro bandas;
- Número máximo de classes que o mapa final pode ter, 15;
- Número máximo de iterações a realizar, 20;
- Número mínimo de *pixels* que cada classe pode ter, 20;
- Intervalo de pesquisa, 10;

Foram feitas experiências com 5, 10 e 15 *clusters* e, dos mapas obtidos, foi considerado o de 15 *clusters*. As 15 classes encontradas foram comparadas com os ortofotomapas, para identificar a classe de ocupação do solo a que pertencem os vários agrupamentos de *pixels*. Verificou-se, então, que as classes podiam ser agregadas, tendo a classificação final apresentado 5 classes: vegetação, água,

vias, edifícios e pavimento. A agregação de classes foi complexa em determinadas situações, uma vez que algumas classes integraram mais do que um tipo de ocupação.

4.1.2 Mapa de Verde da Câmara Municipal de Lisboa

O Departamento de Ambiente e Espaços Verdes (DAEV) da Câmara Municipal de Lisboa tem, nas suas competências, que realizar cartografia com limites de espaços verdes, no que se refere a parques e jardins públicos e restantes áreas verdes existentes na cidade, quer sejam de gestão municipal quer privada.

Para este trabalho foi disponibilizada, pelo referido departamento, cartografia com limites de espaços verdes existentes na cidade, em formato *shape file*, juntamente com informação alfanumérica referente a utilização pública ou privada, toponímia, área e entidade gestora.

O “mapa de verde municipal” apresentou alguns erros na delimitação das áreas verdes existentes na cidade. Consequentemente, foi sujeito a alguma edição na qual foram eliminadas áreas onde existem construções e digitalizados limites de áreas verdes que ainda não estavam cartografados. A operação de edição e correcção da *shape file* foi feita com o *software* ArcGIS.

Uma vez que toda a análise de espaços verdes é feita com imagens de satélite e ortofotomapas, foi necessária a conversão da *shape file* para formato *raster*, com *pixel* de 20 m, de modo a possibilitar a comparação com as restantes imagens. Para esta operação utilizou-se o *software* ESRI, ArcGIS Spatial Analyst. Da conversão de *shape file* para *raster* resulta alguma deformação e perda de definição dos limites das áreas, como se pode verificar na figura 4. Espaços verdes cujos limites são inferiores a 20 m não têm representação no mapa pois estamos a trabalhar com *pixels* de 20 m.

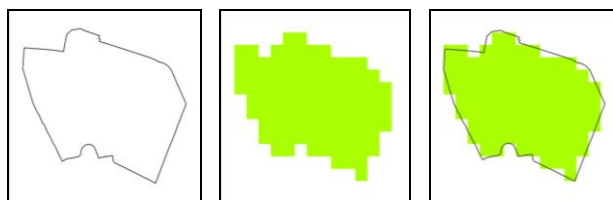


Figura 4. Limite do Parque Silva Porto em formato vectorial e *raster* (CML/ DAEV, 2008).

4.1.3 Avaliação da exactidão de mapas de áreas verdes

Na fase de avaliação de exactidão, os mapas resultantes de NDVI, classificação assistida (CA) e classificação não assistida (CNA) estão a ser testados para definir o melhor método de identificar áreas verdes na cidade de Lisboa, comparativamente com o mapa de espaços verdes produzido pela CML.

A exactidão ou grau de aproximação entre o valor calculado relativamente ao valor real, no caso de atribuição de um ponto ou área a uma classe, destina-se a avaliar o valor dos erros cometidos na classificação. Os erros podem ser considerados de omissão ou comissão se, respectivamente, o ponto não for registado na classe a que pertence ou se o ponto for registado numa classe a que não pertence (Campbell, 2002).

Para avaliar a exactidão temática podem ser criadas matrizes de confusão, obrigando à escolha de áreas a analisar (amostras). Nesta fase, informação auxiliar como mapas de escala superior às imagens, ortofotomapas, observação no terreno, ou outras fontes de maior exactidão são de extrema importância para a avaliação da exactidão temática. Às amostras escolhidas é atribuída uma classificação de referência, de acordo com a informação auxiliar existente. Com as matrizes de confusão, é feita comparação entre a classificação de referência das amostras e os mapas a validar (Campbell, 2002). A partir das matrizes podem ser calculados índices de exactidão temática global e específica: índice de exactidão temática do produtor, índice de exactidão temática do utilizador, erros de omissão, erros de comissão e índice de exactidão global.

As colunas da matriz dão a perspectiva do produtor. O índice de exactidão do produtor (IEP) compara o que no terreno, era determinada classe e o que foi efectivamente classificado nessa classe (Nussbaum e Menz, 2008). O complementar do IEP corresponde aos erros de omissão. As linhas da matriz dão a perspectiva do utilizador. O índice de exactidão do utilizador (IEU) mostra o que está classificado como pertencendo a uma classe e o que realmente pertence a essa classe (Nussbaum e Menz, 2008). O complementar do IUE corresponde aos erros de comissão.

O índice de exactidão global da amostra é dado pela soma dos elementos da diagonal da matriz de confusão, a dividir pelo número total de pontos a analisar,

indicando a percentagem de *pixels* correctamente classificados (Green e Congalton, 2004).

A avaliação da exactidão dos mapas resultantes de NDVI, CA, e CNA baseou-se na sua comparação com um conjunto de amostras às quais foi atribuída uma classificação de referência. Os dados auxiliares utilizados na elaboração da classificação de referência foram ortofotomapas, com resolução espacial superior à das imagens LISS III. O esquema de amostragem escolhido foi amostragem aleatória estratificada. Este esquema de amostragem tem a vantagem de garantir amostras representativas para cada classe existente, no entanto, tem a desvantagem de requerer cartografia realizada anteriormente à verificação da exactidão.

As amostras foram seleccionadas de modo aleatório, sobre um mapa resultante do cruzamento do mapa de NDVI para valores superiores a 0.01 com o mapa de verde municipal. Do cruzamento destes dois mapas resulta um mapa com *pixels* pertencentes a quatro classes: Verde NDVI, Verde, Não Verde, Verde CML.

- Verde NDVI – *Pixels* considerados área verde do mapa de NDVI, mas não verde no mapa da CML;
- Verde – *Pixels* considerados área verde no mapa de NDVI e no mapa da CML;
- Não Verde - *Pixels* considerados área não verde no mapa de NDVI e no mapa da CML;
- Verde CML – *Pixels* considerados área verde no mapa da CML, mas não verde no mapa de NDVI;

Com o *software* ESRI Spatial Analyst, foram gerados 50 pontos aleatórios por cada classe do mapa, resultando num total de 200 pontos de amostra. Cada ponto da amostra foi observado sobre os ortofotomapas e, conforme a aparente quantidade de área verde existente no local, foi-lhe atribuída uma classe de percentagem de verde. As classes estabelecidas foram seis, com valores de 0%, 0-25%, 25-50%, 50-75%, 75-99% e 100%.

Como o principal objectivo desta dissertação é analisar a massa verde existente no concelho de Lisboa, foi considerado que, se um pixel existe com uma percentagem superior a 25%, então esse pixel já deve ser considerado como área verde. As

amostras que pertencem às classes 0% ou 0 – 25% são consideradas como representantes de área não verde.

Após a fase de criação de amostras e respectiva classificação de referência, seguiu-se uma segunda fase em que foram criadas matrizes de confusão.

Os elementos da diagonal da matriz apresentam o número de *pixels* da amostra classificados correctamente no mapa, nas classes verde e não verde, de acordo com a classificação de referência atribuída aos pontos de amostra. Nas colunas da matriz, os elementos que não se encontram na diagonal indicam o número de *pixels* da amostra que, na classificação de referência, pertencem à classe verde ou não verde, mas que no mapa não foram registados nas classes a que pertencem (erros de omissão). Nas linhas da matriz, os elementos que não se encontram na diagonal indicam o número de *pixels* da amostra que, na classificação de referência, pertencem à classe verde ou não verde, mas que no mapa, foram registados numa classe a que não pertencem (erros de comissão).

As matrizes de confusão, permitiram estimar os índices de utilizador e produtor de área verde e área não verde e índice de exactidão global.

Os mapas cuja exactidão foi avaliada foram os seguintes:

- Mapas resultantes do cruzamento dos mapas de NDVI, para os nove limiares de área verde, com o mapa de áreas verdes da CML;
- Mapas resultantes do cruzamento dos mapas de área verde da classificação assistida e classificação não assistida com o mapa de áreas verdes da CML;
- Mapa de áreas verdes produzido pela CML;

4.1.4 Comparação de mapas de áreas verdes

A comparação de mapas tem como principal objectivo identificar áreas semelhantes e diferentes entre mapas. Neste estudo pretende-se comparar o mapa de áreas verdes produzido pela CML com os restantes mapas de áreas verdes extraídos da imagem LISS III: mapa de NDVI para os nove limiares de área verde, mapa da classificação assistida e mapa da classificação não assistida. O mapa de NDVI, para os diferentes limiares de área verde, também foi comparado com os mapas obtidos pela classificação assistida e não assistida.

O procedimento de comparação de mapas foi realizado com o *software* ESRI ArcGIS Spatial Analyst, com operações de álgebra de mapas, combinando os vários mapas que se apresentavam todos no mesmo sistema de coordenadas, em formato *raster*, *pixel* de 20 m, com duas classes de informação, respectivamente área verde e área não verde.

Do cruzamento de mapas resultaram novos mapas, onde se podem observar os *pixels* concordantes de área verde ou área não verde e os *pixels* onde há discordância entre classe de *pixels*. Na análise comparativa de mapas, os *pixels* concordantes identificam as áreas em que se pode ter confiança na classificação, para futura utilização dos mapas criados. Os *pixels* onde há discordância entre classes indicam áreas dos mapas que devem ser observadas e comparadas com informação auxiliar, para futuramente efectuar as correcções necessárias.

Para todos os cruzamentos foram criadas matrizes de confusão, com as classes verde e não verde, e determinado o índice de exactidão global dos mapas obtidos (concordância entre a referência e o mapa).

4.2 Metodologia de produção de um mapa de índice de impermeabilização do concelho

Uma superfície impermeável é definida como uma superfície onde não é possível infiltrar água. Normalmente está associada a edifícios, estradas, estacionamento ou outros tipos de construções (Yuan e Bauer, 2006). O aumento de área impermeabilizada é um dos factores determinantes na qualidade de vida dos habitantes, já que contribui para variações da temperatura, condiciona o escoamento da água e intervém na sua qualidade, tendo, de um modo geral, influência no aspecto estético das áreas urbanizadas (Bauer *et al.*, 2004).

A existência de áreas verdes está relacionada com a percentagem de impermeabilização do solo; quanto maior o nível de impermeabilização menor a possibilidade de existência de vegetação. A percentagem de impermeabilização do solo pode ser avaliada segundo uma imagem inversa da representação de espaços verdes, sendo conveniente aplicar modelos de regressão linear para essa avaliação (Yang, 2006).

Os valores do mapa de NDVI devem variar entre [-1, 1] e o mapa de impermeabilização deve apresentar valores entre 0 e 100 % (Bauer *et al.*, 2007).

O mapa de impermeabilização de Lisboa foi criado através de um modelo de regressão linear simples, para o qual foi necessário escolher amostras de vários níveis de impermeabilização do solo.

4.2.1 Extracção de pontos de amostra

O mapa de NDVI, os mapas de ocupação do solo produzidos por classificação assistida e não assistida e os ortofotomapas serviram de base para a avaliação da percentagem de impermeabilização do concelho de Lisboa. No mapa de NDVI, os *pixels* com valor mais baixo deveriam corresponder a áreas onde a impermeabilização é maior. No entanto, por comparação com os mapas da CA e CNA e ortofotomapas, verificou-se que alguns dos *pixels* de menor valor correspondem a locais de Lisboa onde existe água. As áreas ocupadas por água, embora tenham um índice de verde muito baixo, não podem ser consideradas como áreas impermeáveis. Foi criada uma *shapefile* com os limites das docas e lagos para ser utilizada como máscara, impedindo que estas áreas fossem consideradas no modelo de análise de impermeabilização.

Sobre os ortofotomapas foram escolhidos 35 pontos de amostra que identificam áreas da cidade onde existem edifícios, vias, estacionamento, pavimento e espaços verdes. A cada ponto de amostra foi atribuído um valor de percentagem de impermeabilização que variou entre 0 e 100%. Na figura 5 apresentam-se alguns exemplos de amostras escolhidas. Áreas onde só existe vegetação foram consideradas como tendo o índice mínimo de impermeabilização, 0%. O valor máximo de impermeabilização, 100%, foi atribuído a áreas onde só existem construções. Para cada ponto de amostra foi verificado o respectivo valor, do *pixel*, no mapa de NDVI.

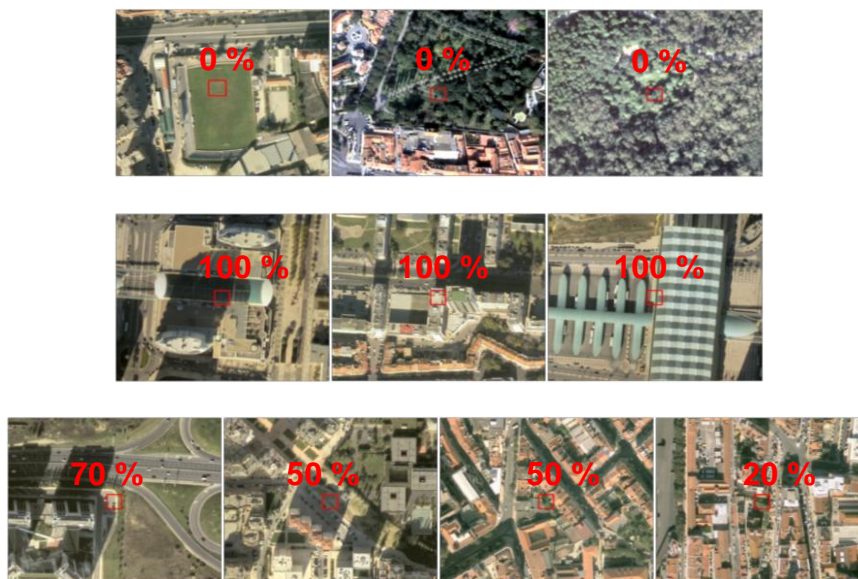


Figura 5. Exemplos de pontos de amostra de percentagem de impermeabilização (IGP, 2004).

4.2.2 Modelo de regressão linear

O modelo de regressão linear é um dos métodos estatísticos que mais se aplica à investigação de relação entre variáveis. Com o *software* Microsoft Excel construiu-se um modelo de regressão linear simples, onde a variável dependente (Y) é a percentagem de impermeabilização atribuída aos pontos de amostra e a variável independente (X) são os valores, dos *pixels*, no mapa de NDVI correspondentes aos mesmos pontos. Utilizando estas variáveis, obteve-se um gráfico de dispersão de pontos e respectiva recta ajustada. A equação obtida corresponde ao modelo de regressão linear simples, apresentando apenas uma variável explicativa (X). A recta ajustada aos pontos do diagrama de dispersão mostra se existe correlação linear entre variáveis, que será tanto mais forte quanto mais próximos da recta estiverem os pontos. Calcularam-se dois coeficientes: o primeiro é o coeficiente de determinação R^2 que indica a proporção da variação da variável dependente (Y) que é explicada pela variação da variável independente (X) (Cohen *et al.*, 2003), cujos valores variam entre 0 e 1; o segundo é o coeficiente de correlação R que avalia a relação entre as duas variáveis (Cohen *et al.*, 2003), cujos valores estão sempre no intervalo [-1, 1].

Para criar o mapa de nível de impermeabilização do solo, foi utilizada a álgebra de mapas, na extensão Spatial Analyst do *software* ArcGIS. Na equação obtida para o

modelo, $Y = a X + b$, X é o mapa de NDVI e Y é o mapa de nível de impermeabilização que apresentou valores entre 0 e 100%.

4.3 Análise de área verde por freguesia

A metodologia desenvolvida anteriormente teve como principal objectivo, determinar o melhor procedimento para criar um mapa de espaços verdes do concelho de Lisboa. O mapa que apresentou melhor exactidão foi aplicado no cálculo de indicadores de área verde por freguesia.

A análise de área verde por freguesia é importante pois trata-se de uma unidade administrativa que serve de base a diversos estudos realizados no município de Lisboa. Para esta unidade administrativa existem dados dos censos de 2001 que podem ser cruzados com os indicadores de áreas verdes, com o intuito de verificar se existe relação entre a presença de espaços verdes e determinadas características da população e edificado.

4.3.1 Cálculo de indicadores de espaços verdes

A distribuição de áreas verdes em Lisboa não é feita de modo homogéneo. Existem grandes espaços verdes, como parques urbanos e alguns jardins, sendo a maior parte de uso público, e existem espaços verdes de menor dimensão mas que também são considerados jardins. Espaços verdes em arruamentos e espaços verdes privados, embora não sejam áreas de lazer para qualquer habitante, têm um forte contributo no controle climático e redução dos níveis de poluição atmosférica. A figura 6 apresenta a localização dos principais parques e jardins públicos, ou de possível uso público, de Lisboa, cujos nomes se encontram na tabela 3. Os parques e jardins de possível uso público, são aqueles em que toda a população tem acesso, mas sujeito a pagamento de entrada. No cálculo de indicadores, para a análise de área verde de parques e jardins públicos, foram considerados os públicos e os de possível uso público.

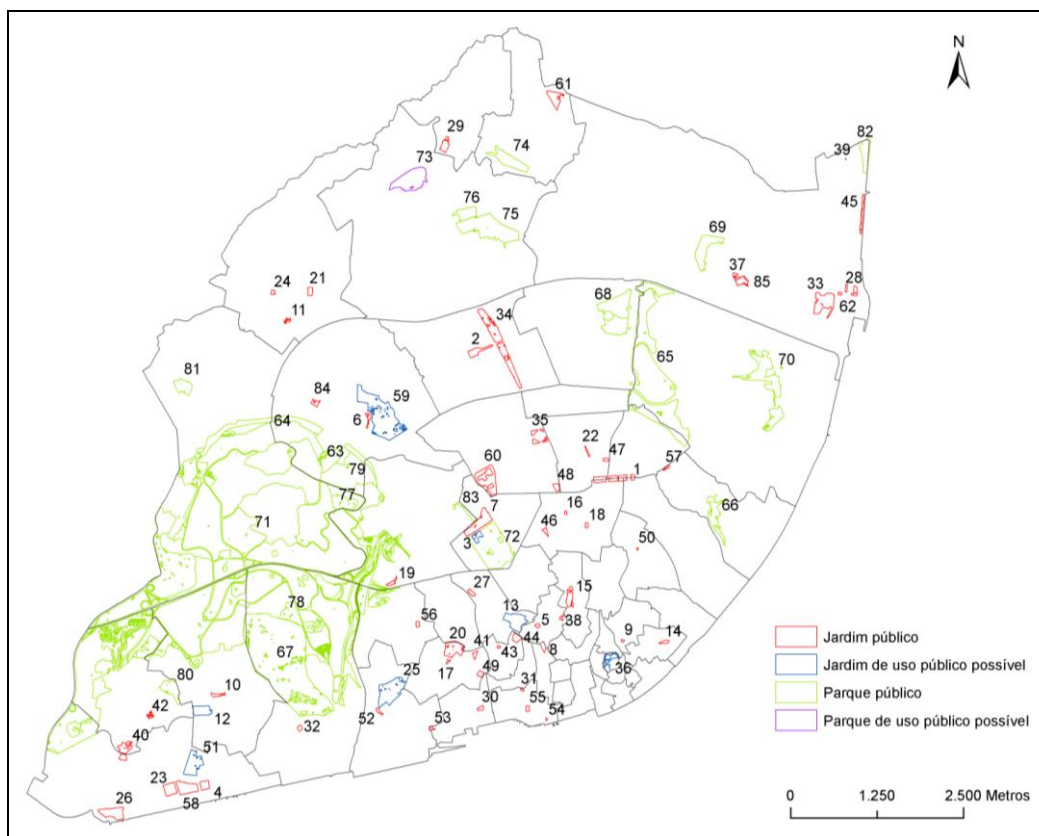


Figura 6. Localização de parques e jardins públicos, de Lisboa (CML, 2008).

Id	NOME	Id	NOME
1	Alameda D. Afonso Henriques	21	Jardim da Luz
2	Alameda da Cidade Universitária	22	Jardim da Praça de Londres
3	Estufa Fria	23	Jardim da Praça do Império
4	Jardim Afonso de Albuquerque	24	Jardim da Quinta dos Azulejos
5	Jardim Alfredo Keil	25	Jardim da Tapada das Necessidades
6	Jardim Alice Cruz	26	Jardim da Torre de Belém
7	Jardim Amália Rodrigues	27	Jardim das Amoreiras
8	Jardim António Nobre	28	Jardim das Ondas
9	Jardim Augusto Gil	29	Jardim de Santa Clara
10	Jardim Avelar Brotero	30	Jardim de Santos
11	Jardim Bento Martins	31	Jardim do Alto de Santa Catarina
12	Jardim Botânico da Ajuda	32	Jardim do Alto de Santo Amaro
13	Jardim Botânico (Museu Nac. Hist. Natural)	33	Jardim do Cabeço das Rolas
14	Jardim Botto Machado	34	Jardim do Campo Grande
15	Jardim Braancamp Freire	35	Jardim do Campo Pequeno
16	Jardim Cesário Verde	36	Jardim do Castelo de São Jorge
17	Jardim Cinco de Outubro	37	Jardim do Palácio do Contador-Mor
18	Jardim Constantino	38	Jardim do Torel
19	Jardim da Bela Flor	39	Jardim dos Jacarandás
20	Jardim da Estrela	40	Jardim Ducla Soares

(continua na página seguinte)

(continuação da página anterior)

Id	NOME	Id	NOME
41	Jardim Elisa Baptista Sousa Pedroso	64	Mata de São Domingos de Benfica
42	Jardim Fernanda Castro	65	Parque da Bela Vista
43	Jardim Fialho de Almeida	66	Parque da Madre de Deus
44	Jardim França Borges	67	Parque da Tapada da Ajuda
45	Jardim Garcia de Orta	68	Parque de Alvalade
46	Jardim Henrique Lopes Mendonça	69	Parque do Vale do Silêncio
47	Jardim João do Rio	70	Parque do Vale Fundão
48	Jardim Jorge Luís Borges	71	Parque Florestal de Monsanto
49	Jardim Lisboa Antiga	72	Parque Eduardo VII
50	Jardim Luís Ferreira	73	Parque Monteiro Mor
51	Jardim Museu Agrícola Tropical	74	Parque Oeste
52	Jardim Olavo Bilac	75	Parque Quinta das Conchas
53	Jardim Rocha de Conde de Óbidos	76	Parque Quinta dos Lilases
54	Jardim Roque Gameiro	77	Parque Recreativo do Alto da Serafina
55	Jardim Sá da Bandeira	78	Parque Recreativo do Alvito
56	Jardim Teófilo de Braga	79	Parque Recreativo do Calhau
57	Jardim Tristão da Silva	80	Parque Recreativo Moinhos de Santana
58	Jardim Vasco da Gama	81	Parque Silva Porto
59	Jardim Zoológico de Lisboa	82	Parque Urbano do Tejo e do Trancão
60	Jardins da Fundação Calouste Gulbenkian	83	Parque Ventura Terra
61	Jardins da Quinta Alegre	84	Quinta do Beau Sejour
62	Jardins de Água	85	Quinta Pedagógica dos Olivais
63	Jardins do Palácio Marqueses de Fronteira		

Tabela 3. Toponímia de parques e jardins públicos, ou de possível uso público (CML, 2008).

A avaliação de área verde por freguesia destinou-se a criar os seguintes indicadores:

- Percentagem de área da freguesia ocupada por espaços verdes;
- Percentagem de área da freguesia ocupada por parques e jardins de uso público;
- Percentagem de área da freguesia ocupada por verde de arruamentos ou espaços verdes privados;
- Percentagem da área verde da freguesia que corresponde a parques e jardins de uso público;
- Percentagem da área verde da freguesia que corresponde a verde de arruamentos ou espaços verdes privados;
- Total de área verde por habitante;

- Total de área verde de parques e jardins públicos por habitante;
- Total de área verde de arruamentos ou espaços verdes privados por habitante;

A metodologia utilizada para o cálculo de áreas verdes, necessária a estes indicadores, baseou-se em operações de *Cross Tabulation* e *overlay* entre três mapas: mapa de NDVI, que apresentou melhor exactidão, mapa com os limites de freguesias e mapa com limites de parques e jardins públicos. Para cada freguesia foi calculada a sua área verde com o *software* ArcGIS e ferramenta *Spatial analyst tools / Zonal / Tabulate Area*. Esta ferramenta permite uma operação de *Cross Tabulation* comparando o mapa de freguesias com o mapa de NDVI e tendo resultado dessa comparação uma tabela com os valores de área verde para cada freguesia.

Da totalidade de área verde de cada freguesia pretendeu-se saber que área corresponde a parques e jardins públicos. Para este cálculo foi necessário criar um mapa de NDVI, apenas com as áreas verdes públicas. Ao mapa de NDVI, aplicou-se uma máscara com o mapa de limites de parques e jardins públicos, tendo resultado um mapa de NDVI com verde público. Seguidamente, foi utilizada a ferramenta *Spatial analyst tools / Zonal / Tabulate Área* para comparação entre o mapa de NDVI de verde público e o mapa de freguesias, tendo-se obtido uma tabela com os valores de área verde pública para cada freguesia. O total de área verde privada ou de arruamentos foi calculada a partir da diferença entre área verde total por freguesia e área verde pública por freguesia.

Para os oito indicadores obtidos foram criados mapas com a sua espacialização, cuja análise permitiu tirar conclusões quanto à distribuição de áreas verdes em Lisboa. As várias etapas da metodologia de cálculo de indicadores apresentam-se nas figuras 7 e 8.

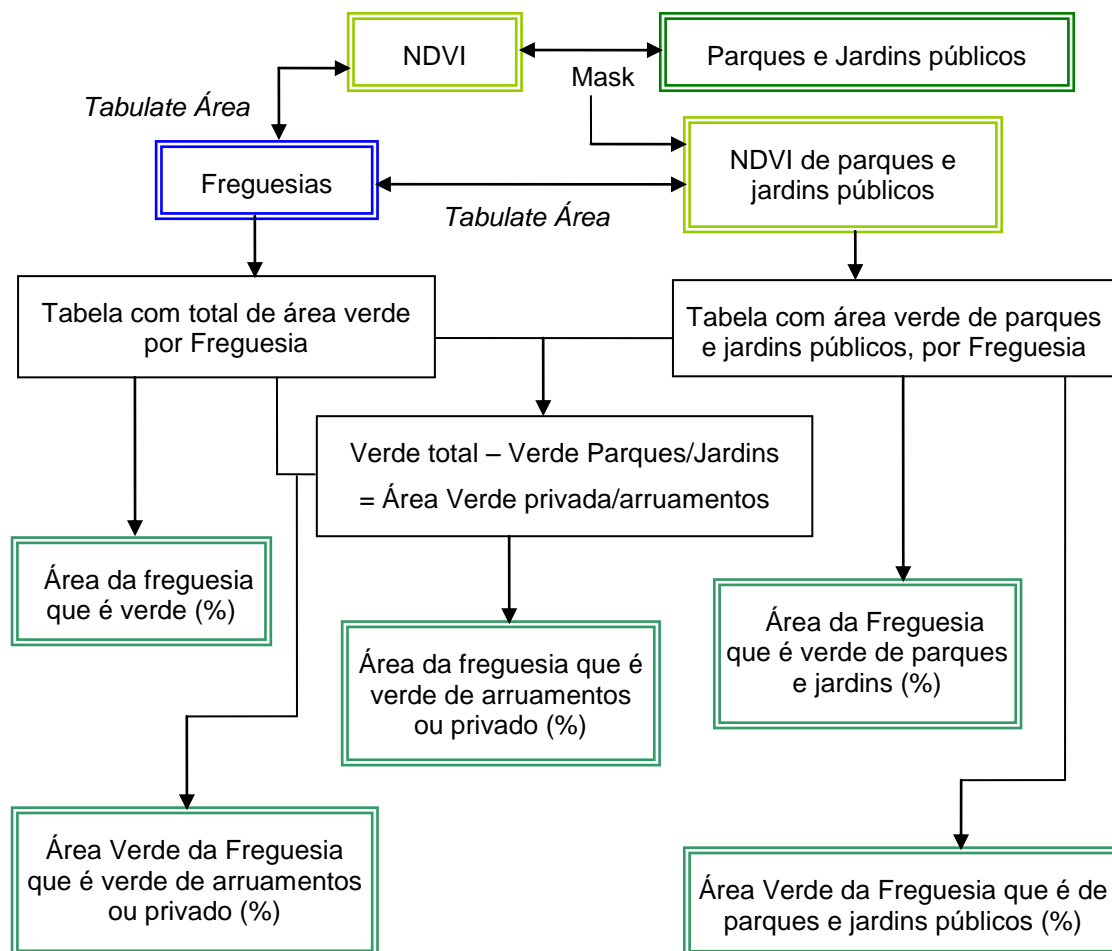


Figura 7. Metodologia de cálculo de indicadores de áreas verdes por freguesia.

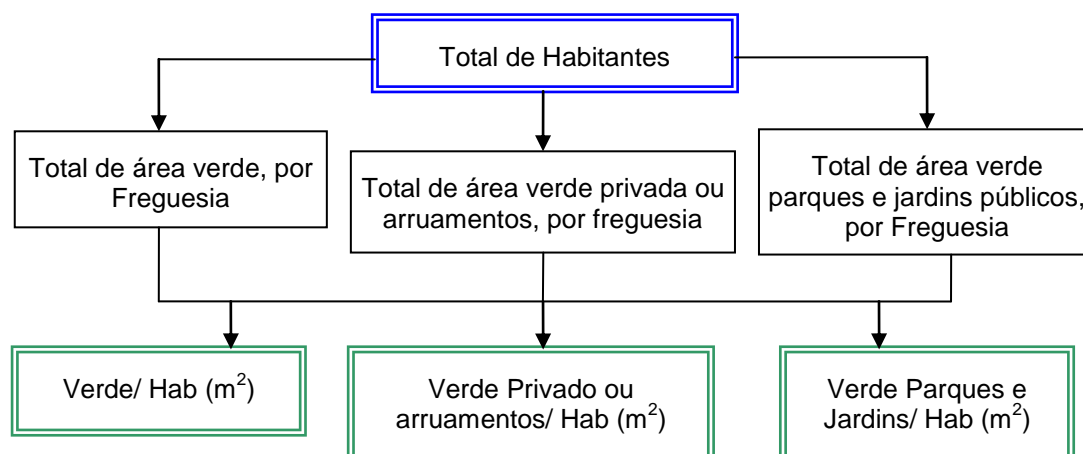


Figura 8. Metodologia de cálculo de indicadores de área verde por habitante, de cada freguesia.

4.3.2 Análise de correlação entre indicadores de espaços verdes e variáveis dos censos

Foi efectuado um estudo de correlação para averiguar a possível existência de relação entre o indicador de percentagem de área verde por freguesia (variável dependente) e as seguintes variáveis dos censos (variável independente):

- Ano de construção de edifícios;
- Uso da edificação (exclusivamente residencial (ER), principalmente residencial (PR) e principalmente não residencial (PNR));
- População residente empregada;

Para a variável ano de construção dos edifícios, foi calculada a sua idade média. A variável uso da edificação subdividiu-se em duas classes, a primeira comporta os edifícios principalmente não residenciais (PNR) e a segunda é o resultado da soma de edifícios exclusivamente residenciais e edifícios principalmente residenciais (ER + PR).

Os gráficos de dispersão criados apresentam, não só uma nuvem de pontos, cujas coordenadas são os valores das duas variáveis, como também rectas que melhor se ajustam aos pontos. Foram calculados os coeficientes de determinação e correlação para avaliar o nível de correlação entre a variável percentagem de verde e as variáveis dos censos.

4.4 Análise de área verde por secção estatística

Os indicadores de áreas verdes por freguesia permitem tirar algumas conclusões sobre o modo como os espaços verdes estão distribuídos na cidade. No entanto, pode ser feita uma análise com mais pormenor, se forem utilizados os limites das secções estatísticas dos censos de 2001, pois delimitam menores áreas. A base geográfica das secções estatísticas é também muito utilizada, na CML, para estudos urbanísticos que necessitem de cruzamento com as variáveis dos censos.

A metodologia aplicada à análise de espaços verdes por secção estatística é idêntica à utilizada para as freguesias. Dos oito indicadores calculados para as freguesias, foram calculados apenas seis:

- Percentagem de área da secção ocupada por espaços verdes;
- Percentagem de área da secção ocupada por parques e jardins de uso público;
- Percentagem de área da secção ocupada por verde de arruamentos ou espaços verdes privados;
- Total de área verde por habitante;
- Total de área verde de parques e jardins públicos por habitante;
- Total de área verde privada ou de arruamentos por habitante;

Para cada indicador foram criados mapas que ilustram a distribuição de espaços verdes por secção estatística.

O estudo de correlação entre o indicador de percentagem de verde por secção estatística e as variáveis dos censos foi realizado para as mesmas variáveis utilizadas nas freguesias.

5 DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos nas várias fases que compõem este trabalho. Numa primeira fase, apresentam-se os resultados das várias metodologias aplicadas à imagem LISS III, para extracção de informação, sendo a mais relevante a identificação de áreas verdes. Numa segunda fase, apresentam-se os resultados da avaliação de exactidão dos mapas criados. Numa terceira fase, são apresentados os resultados da comparação realizada entre mapas de NDVI, CA e CNA e mapa de áreas verdes da CML. Seguidamente, apresentam-se os resultados da metodologia adoptada para elaboração do mapa de nível de impermeabilização do concelho de Lisboa. No fim do capítulo é apresentada a análise dos indicadores de áreas verdes por freguesia e secção estatística e sua relação com variáveis estatísticas dos censos de 2001.

5.1 Resultados obtidos na elaboração de um mapa de áreas verdes

5.1.1 Extracção de informação da imagem LISS III

A metodologia para extracção de informação da imagem LISS III baseou-se em três métodos: cálculo do índice de vegetação NDVI, classificação assistida e classificação não assistida.

5.1.1.1 Cálculo de NDVI

O índice de vegetação NDVI é uma combinação matemática que utiliza as regiões do vermelho e infravermelho do espectro electromagnético. O seu cálculo foi feito com a fórmula $NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$ de onde resultaram valores, para o concelho de Lisboa, na gama $[-0.53, +0.68]$, como se pode verificar na figura 9.

Observando a figura 9, verificamos que os valores mais elevados de NDVI correspondem a manchas de grandes áreas verdes, onde estão incluídos jardins e parques urbanos, das quais se destaca o Parque Florestal de Monsanto. Os valores mais baixos de NDVI correspondem principalmente a áreas construídas, embora os de menor valor se encontrem em áreas de água (docas e lagos).

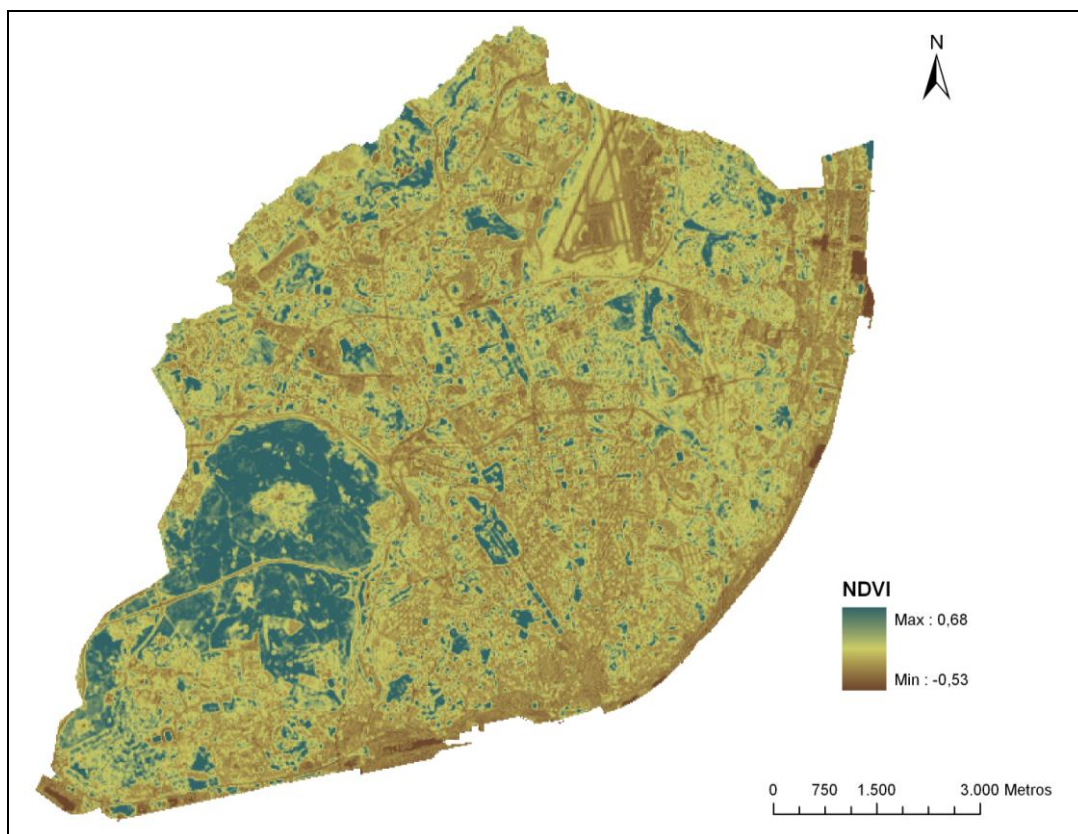


Figura 9. Índice NDVI em Lisboa (Imagem LISS III, 2006).

Na figura 10, apresentam-se dois extractos de ortofotomapas e respectivos extractos do mapa de NDVI que mostram locais da cidade onde existem áreas verdes, áreas de construções e água. Os *pixels* verdes no mapa de NDVI representam as áreas de vegetação visíveis nos ortofotomapas e os *pixels* castanhos identificam as áreas de construções ou água. O primeiro extracto situa-se junto à doca de Belém e nele os *pixels* castanhos mais escuros identificam a área de água onde os valores de NDVI são muito baixos.



Figura 10. Extractos de ortofotomapas e respectivo mapa de NDVI (IGP, 2004 / 2006).

5.1.1.2 Classificação Assistida

A classificação assistida foi realizada em duas etapas:

- Escolha de amostras representativas de cada classe;
- Classificação da imagem, aplicando o algoritmo da máxima verosimilhança;

A escolha de amostras foi efectuada por interpretação visual em ortofotomapas, onde foram escolhidas áreas para várias classes de ocupação do solo. Comparando os ortofotomapas com a imagem de satélite, foram seleccionados *pixels* da imagem para 126 amostras representativas das cinco classes indicadas na tabela 4, às quais foi atribuído um código de identificação de classe.

Código	Classe	Nº Amostras
1	Vias	22
2	Verde	32
3	Água	21
4	Edifícios	31
5	Pavimento	20

Tabela 4. Número de amostras por classe.

Para a classificação da imagem aplicou-se o algoritmo de classificação da máxima verosimilhança, disponível na extensão Spatial Analyst do *software* ArcGIS, do qual resultou o mapa da figura 11, onde se podem observar as cinco classes escolhidas. No mapa distinguem-se elementos bem definidos, como grandes áreas verdes, água e eixos de vias principais da cidade. A classe de pavimento, em alguns casos, confunde-se com vias de cor clara e placas de edifícios. Para algumas áreas da cidade, onde as vias são muito estreitas, existe mistura de *pixels* entre vias e edifícios.

Enquanto no mapa do NDVI encontramos um intervalo de valores para o índice de vegetação, na classificação assistida temos áreas definidas por classes de ocupação de solo. Na classe de áreas verdes, destacam-se grandes manchas que delimitam parques e jardins, tal como no mapa de NDVI.

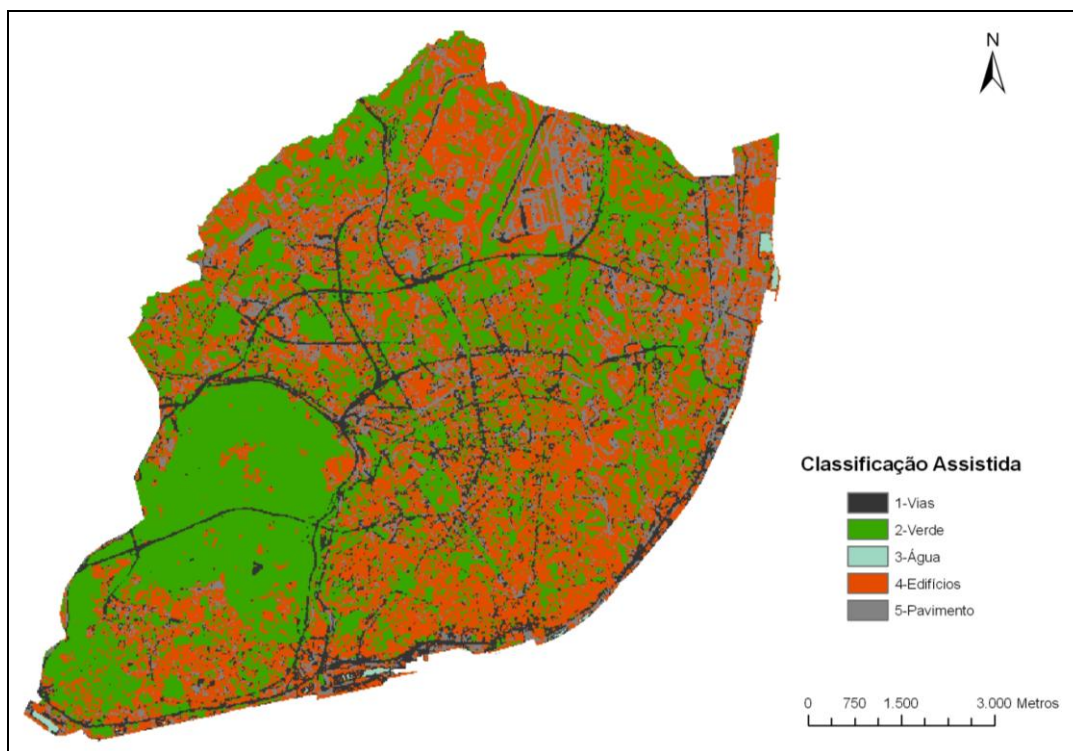


Figura 11. Classificação Assistida (Imagem LISS III, 2006).

5.1.1.3 Classificação não Assistida

A classificação não assistida foi também realizada em duas etapas:

- Produção de um mapa de *clusters*;
- Identificação das classes necessárias ao estudo;

Foram feitos mapas com 5, 10 e 15 *clusters*. Na figura 12 apresenta-se o mapa que resultou de 15 *clusters* pois foi neste que se conseguiram identificar melhor as classes necessárias ao estudo.

Pretendeu-se identificar as cinco classes existentes na CA, de modo a facilitar a comparação das duas classificações. Como foram utilizados 15 *clusters*, obtiveram-se 15 classes, o que tornou necessário agrupar classes para definir as mesmas cinco classes da CA. Tal como na CA, também no mapa da CNA se distinguem grandes manchas verdes, água e eixos de vias principais. A classe pavimento confunde-se facilmente com outras superfícies de cor clara. Existe mistura de *pixels* entre vias e edifícios em vários locais da cidade, principalmente onde as vias são muito estreitas.

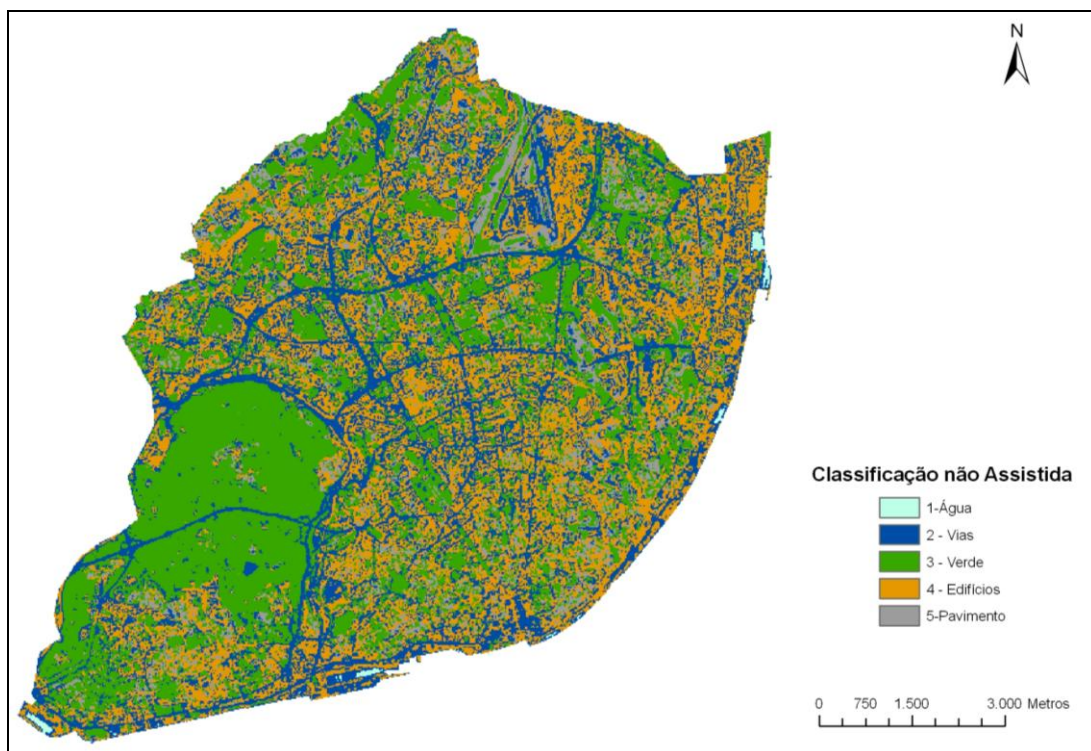


Figura 12. Classificação não Assistida (Imagem LISS III, 2006).

5.1.2 Mapa de áreas verdes da Câmara Municipal de Lisboa

O mapa de áreas verdes, produzido pelo Departamento de Ambiente e Espaços Verdes da Câmara Municipal de Lisboa, foi disponibilizado em formato vectorial *shape file*. Da sua conversão para formato *raster*, com *pixel* de 20 metros, resultou o mapa da figura 13.

O mapa de verde municipal apresentou alguns erros na delimitação das suas áreas, o que consequentemente tornou necessário fazer edição da *shape file*. Eliminaram-se áreas onde existem construções mas que tinham sido consideradas áreas verdes (figura 14). Digitalizaram-se limites de áreas verdes que não estavam cartografadas (figura 15).

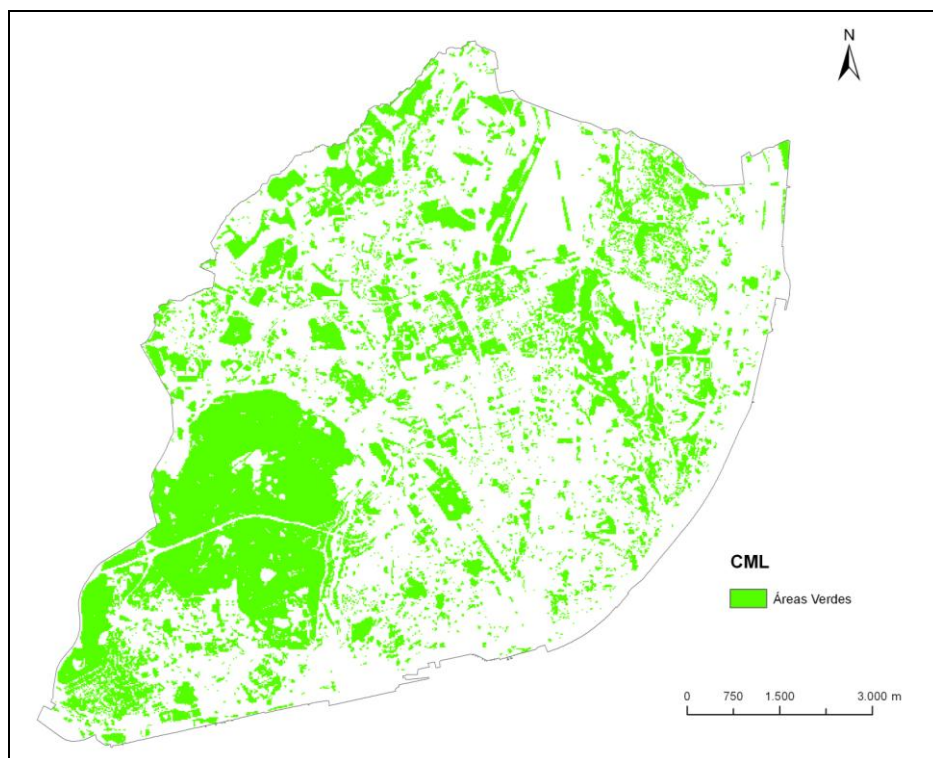


Figura 13. Mapa de áreas verdes produzido pela CML, em formato *raster* (CML/DAEV, 2008).

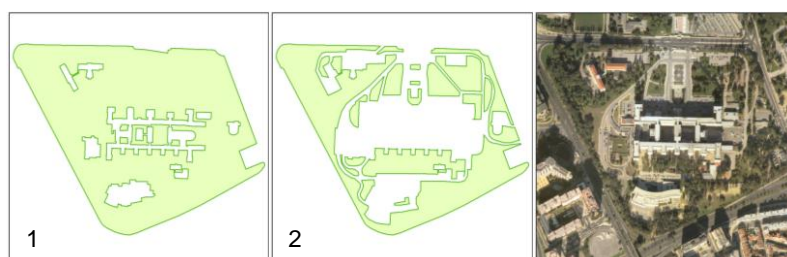


Figura 14. Limite de área verde do hospital de Santa Maria, no mapa original da CML (1) e limite com correções (2) conforme ortofotomapa (CML/DAEV, 2008; IGP, 2004).

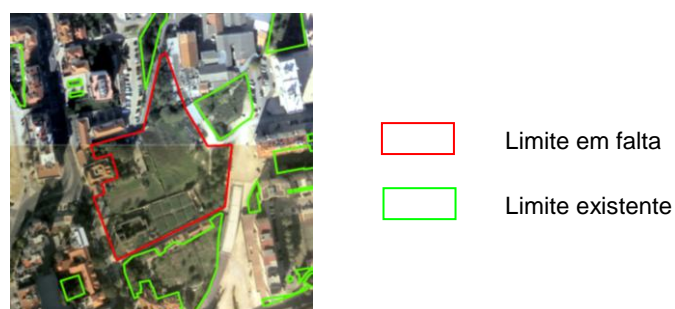


Figura 15. Exemplo de área verde em falta no mapa da CML (CML/DAEV, 2008; IGP, 2004).

5.1.3 Avaliação da exactidão dos mapas de áreas verdes

5.1.3.1 Extracção de pontos de amostra

A avaliação da exactidão dos mapas de áreas verdes foi feita com amostragem aleatória estratificada, para garantir a existência de pontos de amostras em todas as classes dos mapas a validar. O mapa sobre o qual foram seleccionadas as amostras resultou do cruzamento do mapa de NDVI para valores superiores a 0.01, com o mapa de espaços verdes da CML. O mapa proveniente deste cruzamento apresenta quatro classes, Verde NDVI, Verde, Não Verde, Verde CML. Por cada classe foram gerados 50 pontos de amostra, dos quais resultaram os 200 pontos que se apresentam na figura 16.

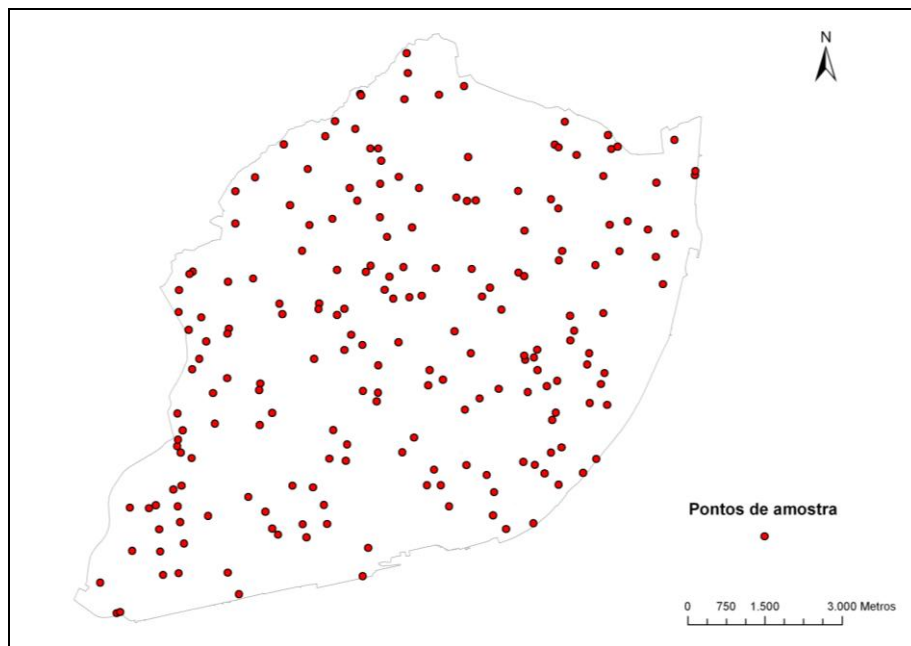


Figura 16. Mapa com espacialização dos 200 pontos de amostra aleatórios.

Os pontos de amostra estão dispersos por toda a área do concelho e foram utilizados na avaliação da exactidão dos mapas de NDVI, CA, CNA e CML.

Tal como já foi referido anteriormente, através da observação em ortofotomapas foi atribuída aos pontos de amostra uma classificação de referência. As classes de referência indicam percentagem de área verde que são as seguintes: 0 %, 0 – 25 %, 25 -50 %, 50 – 75 %, 75 – 99 %, 100%.

Como o principal objectivo deste trabalho é analisar a área verde existente no concelho de Lisboa, foi considerado que, se um pixel existe com uma percentagem superior a 25%, então esse *pixel* já deve ser considerado como verde. Os pontos pertencentes às classes 0% e 0 – 25 % representam a classe não verde, os pontos pertencentes às restantes classes representam a classe verde.

5.1.3.2 Exactidão do mapa de NDVI cruzado com o mapa da CML

A avaliação da exactidão do mapa de NDVI cruzado com o mapa de verde da CML foi feita para nove mapas de NDVI, cujos valores de limiar de verde pertencem ao conjunto {-0.03, -0.01, 0.01, 0.03, 0.05, 0.07, 0.09, 0.11, 0.13}, com o objectivo de identificar o valor que apresenta melhores resultados.

Descrevem-se, em seguida, os resultados da metodologia utilizada para criar a matriz de confusão, do mapa de NDVI com valores superiores a 0.01 cruzado com o mapa de verde municipal. A elaboração desta matriz exigiu um trabalho prévio de análise de distribuição dos 200 pontos de amostra, por classe de percentagem de verde.

A tabela 5 apresenta a contagem dos pontos de amostra, distribuídos pelas seis classes de referência e pelas quatro classes do mapa, Verde NDVI, Verde, Não Verde, Verde CML.

		Classificação de referência						Total
		0%	0-25%	25-50%	50-75%	75-99%	100%	
Classes do mapa	Verde NDVI		9	33	3	4	1	50
	Verde			10	4	21	15	50
	Não Verde	24	21	5				50
	Verde CML	4	32	8	5		1	50
Total		28	62	56	12	25	17	200

Tabela 5. Pontos de amostra por classe do mapa NDVI > 0.01 e classificação de referência, com base em imagem LISS III e mapa de áreas verdes da CML.

Observando a tabela 5, verificamos que a maioria dos pontos de amostra, nas classes Verde NDVI e Verde, são considerados na classificação de referência com percentagem de verde superior a 25%. Na classe Não Verde, o maior número de

pontos de amostra é considerado na classificação de referência com percentagem de verde inferior a 25%. Esta distribuição de pontos por classe mostra que o valor 25 % foi bem escolhido para a definição de área verde e não verde. As tabelas com a distribuição de pontos de amostra por classes do mapa e classificação de referência, para os restantes mapas de NDVI, encontram-se no anexo 2. Também nestas tabelas se pode concluir que o valor 25% foi bem escolhido para a definição de área verde ou não verde.

A classe Verde CML apresenta um valor elevado de pontos de amostra, na classificação de referência com percentagem de verde inferior a 25%, o que pode significar que os *pixels* considerados verdes, apenas no mapa da CML, não são fiáveis para representação de área verde. A existência de 36 amostras na classe Verde CML, mas que na classificação de referência não são considerados verdes, pode dever-se a alguns erros de digitalização, embora o mapa de áreas verdes da CML tenha sido sujeito a diversas correcções. A conversão do mapa, de formato vectorial *shape file* para formato *raster*, levou à perda de detalhe e à existência de *pixels* mistos, sendo este outro factor que pode ter influenciado a presença de *pixels* na classe errada.

Os 9 pontos de amostra na classe Verde NDVI e classificação de referência 0 – 25% e os 5 pontos de amostra na classe Não Verde e classificação de referência 25 – 50% podem estar incorrectamente classificados, devido à diferença de datas de aquisição da imagem LISS III e ortofotomapas. Outro factor que pode ter contribuído para esta situação é a subjectividade inerente à tarefa de atribuição de classe de percentagem de verde aos pontos de amostra.

A matriz de confusão que se pretende criar deverá apresentar a relação entre as classes Verde e Não Verde do mapa e classes Verde e Não Verde da referência. De acordo com a tabela 5, podemos concluir que as classes do mapa, Verde NDVI e Verde, representam com alguma fiabilidade a classe Verde; para a classe Não Verde, as classes do mapa, Não Verde e Verde CML, são as que melhor traduzem a existência de áreas não verdes. A tabela 6 apresenta a matriz de confusão da comparação entre classificação de referência e mapa que resulta do cruzamento do mapa de NDVI > 0.01 com o mapa de verde da CML.

Referência Mapa	Não Verde	Verde	Total
Não Verde	81	19	100
Verde	9	91	100
Total	90	110	200

Tabela 6. Matriz de Confusão da comparação entre classificação de referência e mapa de NDVI > 0.01 cruzado com mapa da CML.

Os valores inscritos nas células sombreadas correspondem aos *pixels* concordantes entre as classes do mapa e classificação de referência. Os valores nas células não sombreadas indicam a discordância entre a classificação do mapa e a classificação de referência.

As matrizes de confusão com a comparação entre classificação de referência e restantes mapas de NDVI, cruzados com o mapa de verde da CML, apresentam-se no anexo 3. A partir das matrizes de confusão, foram calculados os índices de exactidão temática global e específica: IEP, IEU e índice de exactidão global, apresentados na tabela 7.

NDVI	IEP Verde	IEU Verde	IEP Não Verde	IEU Não Verde	Exactidão Global %
-0,03	95,58	75,00	58,62	91,07	79,50
-0,01	90,27	83,61	77,01	85,90	84,50
0,01	82,73	91,00	90,00	81,00	86,00
0,03	66,37	91,46	91,95	67,80	77,50
0,05	53,98	92,42	94,25	61,19	71,50
0,07	47,32	92,98	95,45	58,74	68,50
0,09	42,86	94,12	96,59	57,05	66,50
0,11	38,05	95,56	97,70	54,84	64,00
0,13	31,86	97,30	98,85	52,76	61,00

Tabela 7. Índices de Produtor, Utilizador e Exactidão Global, para os nove valores de teste de NDVI.

A tabela 7 permite observar as variações dos índices consoante o valor de NDVI estudado. À medida que o limiar de verde aumenta, a área considerada verde no mapa de NDVI reduz, como se pode visualizar na figura 17. Consequentemente, o

IEP da classe Verde diminui e o IEU da classe Verde aumenta. A redução do IEP da classe Verde justifica-se, uma vez que o IEP traduz o que era, na realidade, uma determinada classe e o que foi efectivamente classificado nessa classe. O aumento do IEU da classe Verde é normal que ocorra, pois este índice traduz o que está classificado como pertencendo a uma classe e o que realmente pertence a essa classe. Com o aumento do limiar de verde do mapa de NDVI, a área considerada verde neste mapa reduz-se, portanto, quando se compara o mapa com a classificação de referência, a proporção de *pixels* classificados como área verde e que também são verde na referência aumenta e, consequentemente, também aumenta o IEU. No entanto, o aumento de limiar de NDVI leva à perda de muita área verde e existem *pixels* que, na realidade, pertencem à classe Verde, mas que não foram classificados como tal, o que justifica a diminuição do IEP.

Em relação à classe Não Verde, à medida que o limiar de verde aumenta, a área considerada não verde no mapa de NDVI também vai aumentando. Consequentemente, o IEP da classe Não Verde aumenta e o IEU da classe Não Verde reduz-se. Se a área classificada como não verde é maior, quando comparamos o mapa com a referência, constatamos que existem muitos *pixels* que foram classificados como Não Verde mas que, na realidade, não pertencem a essa classe, o que leva à redução do IEU. O IEP aumenta pois, como temos uma grande área classificada como Não Verde, os *pixels*, que na realidade pertenciam a áreas não verdes, foram quase todos classificados na classe Não Verde.

O índice de exactidão global apresenta valores mais elevados para o mapa de NDVI 0.01, portanto este mapa foi considerado o que melhor representa a realidade existente em Lisboa, tendo como referência os 200 pontos de amostra classificados com base nos ortofotomapas.

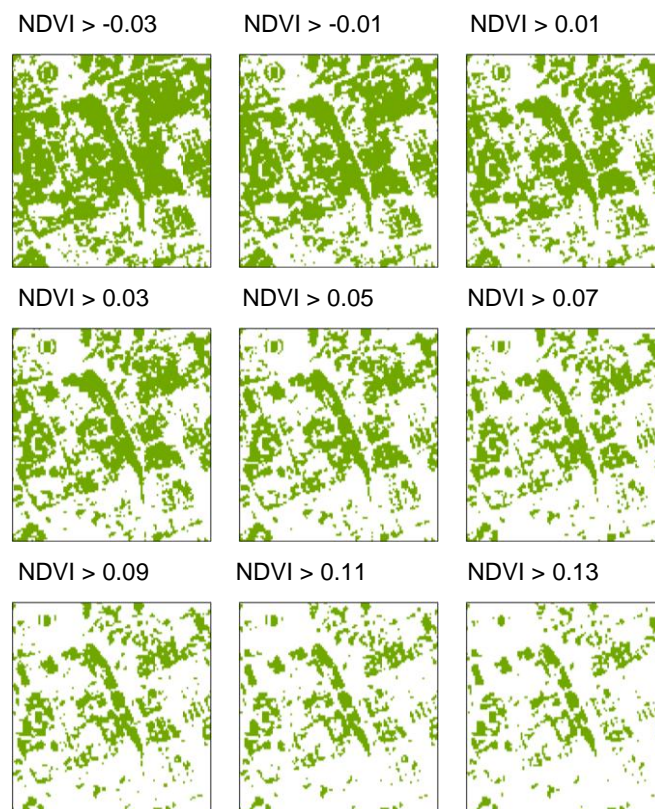


Figura 17. Extractos do mapa de NDVI para os nove valores de limiar de verde.

5.1.3.3 Exactidão do mapa da classificação assistida cruzado com o mapa de áreas verdes da CML

A avaliação da exactidão do mapa de áreas verdes da classificação assistida cruzado com o mapa de áreas verdes da CML seguiu a mesma metodologia utilizada para os mapas de verde do NDVI.

A tabela 8 apresenta a contagem dos 200 pontos de amostra, distribuídos pelas seis classes de referência e pelas quatro classes do mapa, Verde CA, Verde, Não Verde, Verde CML.

- Verde CA – *Pixels* considerados área verde do mapa da CA, mas não verde no mapa da CML;
- Verde – *Pixels* considerados área verde no mapa da CA e no mapa da CML;
- Não Verde - *Pixels* considerados área não verde no mapa da CA e no mapa da CML;

- Verde CML – *Pixels* considerados área verde no mapa da CML, mas não verde no mapa da CA;

		Classificação de referência						Total
		0%	0-25%	25-50%	50-75%	75-99%	100%	
Classes do mapa	Verde CA	1	6	23	1	3	1	35
	Verde		3	13	7	21	16	60
	Não Verde	25	30	19	2	1		77
	Verde CML	2	20	4	2			28
Total		28	59	59	12	25	17	200

Tabela 8. Pontos de amostra por classe do mapa da CA e classificação de referência, com base em imagem LISS III e mapa de áreas verdes da CML.

Analisando a tabela 8, verificamos que, na classe Verde CA, um ponto de amostra se encontra na classe 0% e 6 pontos de amostra na classe 0 – 25%. A presença de 7 pontos que na classificação de referência têm percentagem de verde reduzida ou nula pode ser devida a vários factores, sendo o mais relevante a escolha de amostras para a classificação da imagem. Na classe Verde existem 3 pontos cuja classificação de referência é de 0 – 25 % e embora este nível represente a área verde concordante nos dois mapas, podem existir erros em ambos. Os erros podem ser provenientes da escolha de amostras para a classificação da imagem e também da digitalização incorrecta das áreas verdes no mapa da CML. Na classe Não Verde, encontramos 22 pontos que, na classificação de referência, são considerados como área verde. Principalmente na classe 25 – 50 %, para além das causas de erros já referidas que podem ter estado presentes na elaboração dos mapas, temos também a considerar a subjectividade inerente à atribuição de percentagem de verde a cada ponto de amostra. A classe 25 – 50 % que define a transição entre área verde e área não verde será a classe onde o operador terá mais dúvidas em identificar a classificação a atribuir ao ponto de amostra.

Também para este mapa, a diferença de datas, entre a aquisição da imagem de satélite e ortofotomapas, pode ser mais um factor que influencia a existência dos erros detectados no processo de avaliação de exactidão.

A tabela 9 apresenta a matriz de confusão da comparação entre classificação de referência dos pontos de amostra e mapa resultante do cruzamento do mapa de verde da CA e mapa de verde da CML. As células sombreadas contêm o número de *pixels* concordantes entre as classes do mapa e a classificação de referência. As células não sombreadas indicam o número de *pixels* discordantes entre as classes do mapa e a classificação de referência.

A partir da matriz de confusão foram calculados índices de exactidão temática global e específica: IEP, IEU e índice de exactidão global (tabela 14).

Referência Mapa CA	Não Verde	Verde	Total
Não Verde	77	28	105
Verde	10	85	95
Total	87	113	200

Tabela 9. Matriz de confusão da comparação entre classificação de referência e mapa de verde da CA cruzado com o mapa de verde da CML.

5.1.3.4 Exactidão do mapa da classificação não assistida cruzado com o mapa de áreas verdes da CML

O mapa de espaços verdes produzido por classificação não assistida foi cruzado com o mapa de áreas verdes da CML e, mais uma vez, a avaliação da exactidão do mapa resultante deste cruzamento seguiu a metodologia utilizada para os mapas de verde do NDVI e mapa de verde da CA.

A tabela 10 apresenta a distribuição dos 200 pontos de amostra pelas seis classes de referência e pelas quatro classes do mapa, Verde CNA, Verde, Não Verde, Verde CML.

- Verde CNA – *Pixels* considerados área verde do mapa da CNA, mas não verde no mapa da CML;
- Verde – *Pixels* considerados área verde no mapa da CNA e no mapa da CML;
- Não Verde - *Pixels* considerados área não verde no mapa da CNA e no mapa da CML;
- Verde CML – *Pixels* considerados área verde no mapa da CML, mas não verde no mapa da CNA;

		Classificação de referência						Total
		0%	0-25%	25-50%	50-75%	75-99%	100%	
Classes do mapa	Verde CNA	1	3	10	1	3		18
	Verde		1	10	5	20	15	51
	Não Verde	25	33	32	2	1	1	94
	Verde CML	2	22	7	4	1	1	37
Total		28	59	59	12	25	17	200

Tabela 10. Pontos de amostra por classe do mapa da CNA e classificação de referência, com base em imagem LISS III e mapa de áreas verdes da CML.

Analisando a tabela 10 verificamos que, tal como anteriormente para os mapas de NDVI e mapa de verde da CA, existem vários pontos de amostra classificados com percentagem de verde superior a 25%, mas que no mapa pertencem à classe Não Verde. Existem também pontos com percentagem de verde inferior a 25%, mas que foram considerados verdes nas classes Verde CNA e Verde CML. Na CNA, para além dos possíveis factores de erro já citados para o mapa da CA e mapas de NDVI, outro factor que pode ter influenciado a exactidão do mapa é o facto do número de *clusters* utilizados poder não ser o adequado ao número de classes que se pretendiam identificar.

A tabela 11 apresenta a matriz de confusão da comparação entre classificação de referência dos pontos de amostra e mapa resultante do cruzamento do mapa de verde da CNA e mapa de verde da CML. As células sombreadas contêm o número de *pixels* concordantes entre as classes do mapa e a classificação de referência. As células não sombreadas indicam o número de *pixels* discordantes entre as classes do mapa e a classificação de referência.

A partir da matriz de confusão foram calculados índices de exactidão temática global e específica: IEP, IEU e índice de exactidão global (tabela 14).

Referência Mapa CNA	Não Verde	Verde	Total
Não Verde	82	49	131
Verde	5	64	69
Total	87	113	200

Tabela 11. Matriz de confusão para o mapa de verde da CNA e mapa de verde da CML.

5.1.3.7 Exactidão do mapa de áreas verdes da CML

A avaliação de exactidão do mapa de áreas verdes da CML baseou-se na sua comparação com os 200 pontos de amostra, considerando 25 % o limite a partir do qual se considera que o *pixel* pertence a uma área verde.

A tabela 12 mostra a distribuição dos pontos de amostra pelas seis classes de referência e classes Verde e Não Verde do mapa da CML.

Na tabela 12 verificamos que existem 38 pontos na classe Não Verde do mapa, mas que são considerados verdes na classificação de referência. A mesma situação de discordância acontece para 20 pontos existentes na classe Verde do mapa, mas que, na classificação de referência, foram considerados com percentagem de verde inferior a 25%. Os pontos com classificação incorrecta no mapa devem-se a factores já referidos para os anteriores mapas, sendo os mais relevantes os possíveis erros de digitalização dos limites de áreas verdes, a perda de detalhe do mapa devido à conversão de formato *shapefile* para formato *raster* e a diferença de datas entre a aquisição da imagem LISS III e os ortofotomapas.

		Classificação de referência						Total
		0%	0-25%	25-50%	50-75%	75-99%	100%	
Classes do mapa	Não Verde	26	41	37		1		105
	Verde	2	18	22	12	24	17	95
Total		28	59	59	12	25	17	200

Tabela 12. Pontos de amostra por classes do mapa da CML e classificação de referência.

A tabela 13 apresenta a matriz de confusão da comparação entre classificação de referência dos pontos de amostra e mapa de áreas verdes da CML. As células sombreadas, na diagonal da matriz, contêm o número de *pixels* concordantes entre as classes do mapa e a classificação de referência. As células não sombreadas indicam o número de *pixels* discordantes entre as classes do mapa e a classificação de referência.

A partir da matriz de confusão foram calculados índices de exactidão temática global e específica: IEP, IEP e índice de exactidão global (tabela 14).

Referência Mapa	Não Verde	Verde	Total
Não Verde	67	38	105
Verde	20	75	95
Total	87	113	200

Tabela 13. Matriz de confusão do mapa de verde da CML.

A tabela 14 apresenta os índices de exactidão temática global e específica para os mapas, NDVI > 0.01, CA, CNA e CML. A análise desta tabela permite concluir que, dos três mapas de área verde, criados a partir da imagem LISS III, o que tem melhor exactidão global é o mapa de NDVI > 0.01 (86.00%). O mapa da CA também apresenta um valor elevado de exactidão global (81.00%). O mapa da CNA é o que apresenta menor fiabilidade pois o índice de exactidão global tem o valor mais baixo (73.00%). De acordo com a classificação de referência atribuída aos pontos de amostra, o mapa de áreas verdes da CML apresenta valores de índices de avaliação de exactidão mais baixos que os mapas de áreas verdes extraídos a partir da imagem de satélite. O índice de exactidão global do mapa da CML (71.00%) tem um valor próximo do valor obtido para a CNA (73.00%), no entanto, os mapas da CA e NDVI > 0.01 têm valores de exactidão global muito superiores.

Mapas	IEP Verde	IEU Verde	IEP Não Verde	IEU Não Verde	Exactidão Global %
NDVI > 0.01_CML	82,73	91,00	90,00	81,00	86,00
CA_CML	75,22	89,47	88,51	73,33	81,00
CNA_CML	56,64	92,75	94,25	62,60	73,00
CML	66,37	78,95	77,01	63,81	71,00

Tabela 14. Índices de exactidão temática global e específica.

5.1.4 Comparação de mapas

Os mapas de NDVI, para os nove limiares de verde, foram comparados com os mapas de verde da CML, CA e CNA, tendo sido elaboradas matrizes de confusão com os resultados da comparação das classes Verde e Não Verde.

A avaliação da exactidão de mapas mostrou que o mapa de NDVI > 0.01 é o que apresenta melhor índice de exactidão global. Na tabela 15 apresenta-se a matriz de confusão com os resultados da comparação entre este mapa de NDVI e o mapa de verde da CML. As matrizes de confusão com os resultados da comparação de mapas, para os restantes valores de NDVI, encontram-se nos anexos 4, 5 e 6, respectivamente, comparação com mapa de verde da CML, CA e CNA.

Na tabela 15, as células sombreadas contêm o número de *pixels* concordantes nos dois mapas, da classe Verde e classe Não Verde. Os restantes valores correspondem ao número de *pixels* discordantes entre mapas. Nas colunas da tabela podemos verificar a percentagem de *pixels* que pertencem à classe Verde e classe Não Verde do mapa da CML e que, no mapa de NDVI, foram classificados, respectivamente, como Verde e Não Verde. A concordância da classe Verde é de 94.11%, portanto, superior à da classe Não Verde que é apenas 79.70%. Nas linhas da matriz podemos observar a percentagem de *pixels* que foram classificados no mapa de NDVI como Verde e Não Verde e que no mapa da CML, pertencem, respectivamente, às classes Verde e Não Verde. A concordância da classe Verde é de 69.37%, portanto muito inferior à da classe Não Verde que é de 96.51%. A concordância global entre os dois mapas tem um valor elevado de 84.43 %. A discordância encontrada deve-se principalmente a erros de digitalização, no mapa de verde da CML, e à perda de detalhe deste mapa motivada pela conversão do seu formato original *shapefile* para formato *raster*.

		Mapa da CML			
		Verde	Não Verde	Total	C (%)
NDVI > 0.01	Verde	65286	28820	94106	69.37
	Não Verde	4086	113158	117244	96.51
	Total	69372	141978	211350	
	C (%)	94.11	79.70		84.43

Tabela 15. Matriz de confusão da comparação do mapa de NDVI > 0.01 e mapa da CML.

Na tabela 16 encontram-se os valores de concordância global entre o mapa de NDVI, para os nove valores de teste, e mapas de verde da CML, CA e CNA. A partir da comparação destes mapas, constata-se que o valor de concordância global mais

elevado (90.86%) se encontra entre o mapa de NDVI > 0.03 e mapa de verde da CA. A comparação entre mapa de NDVI e mapa de verde da CNA apresenta o melhor valor de concordância (89.42%) para NDVI > 0.09. Entre o mapa de NDVI e mapa de verde da CML, o melhor valor de concordância (88.54%) encontra-se também para valores de NDVI > 0.09. O mapa de NDVI > 0.01 não apresenta o valor mais elevado de concordância global, quando comparado com os restantes mapas, no entanto, a avaliação de exactidão mostrou que este mapa é o que tem melhor exactidão global e, como tal, foi escolhido como o melhor mapa de áreas verdes extraído a partir da imagem LISS III.

NDVI	Concordância Global		
	V_CML	V_CA	V_CNA
-0,03	74,70	80,92	74,51
-0,01	80,26	86,09	80,07
0,01	84,43	89,68	84,21
0,03	86,75	90,86	87,04
0,05	88,02	90,42	88,55
0,07	88,53	88,78	89,30
0,09	88,54	86,52	89,42
0,11	88,17	84,09	88,75
0,13	87,64	81,76	87,39

Tabela 16. Concordância entre mapas de NDVI e mapas de verde da CML, CA e CNA.

5.2 Mapa de impermeabilização de Lisboa

O mapa de impermeabilização de Lisboa foi criado segundo um modelo de análise de regressão linear que utilizou 35 pontos de amostra, aos quais foi atribuído um valor de percentagem de impermeabilização. As amostras foram escolhidas para valores, de NDVI, entre 0.68 e -0.29, uma vez que os valores inferiores a -0.29 correspondem a *pixels* onde existe água. A percentagem de impermeabilização foi considerada a variável dependente, tendo o correspondente valor de NDVI sido considerado a variável independente. Utilizando estas variáveis, obteve-se o gráfico de dispersão da figura 18 e as estatísticas de regressão da tabela 17.

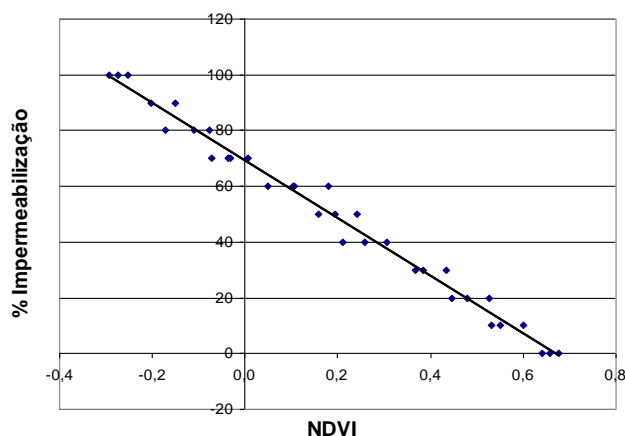


Figura 18. Relação entre valores de NDVI e percentagem de impermeabilização.

Recta ajustada	R ²	R
$y = -103,52x + 69,291$	0,9840	- 0,9919

Tabela 17. Estatística de regressão do mapa de nível de impermeabilização do solo.

Na tabela 17, o coeficiente de determinação R^2 tem um valor de 0,9840. Este resultado mostra que 98.40% das variações da variável dependente podem ser explicadas por variações da variável independente. O coeficiente de correlação R, que mede o grau de relação entre duas variáveis, apresenta um valor negativo (-0.9919) tratando-se portanto de uma situação de correlação negativa. Como tal, o aumento da variável independente (NDVI) leva a uma diminuição da variável dependente (% de impermeabilização).

Para criar o mapa de nível de impermeabilização do solo, foi utilizada a álgebra de mapas, na extensão Spatial Analyst do *software* ArcGIS. A equação obtida para o modelo, $y = -103,52x + 69,291$, representa um modelo de regressão linear simples. Na variável x foi aplicado o mapa de NDVI, tendo resultado um mapa de nível de impermeabilização do solo com valores entre -0.76% e 99.51% (figura 19).

Como se pode observar na figura 19, as áreas com menor impermeabilização correspondem a áreas assinaladas como verdes no mapa de NDVI (figura 9).

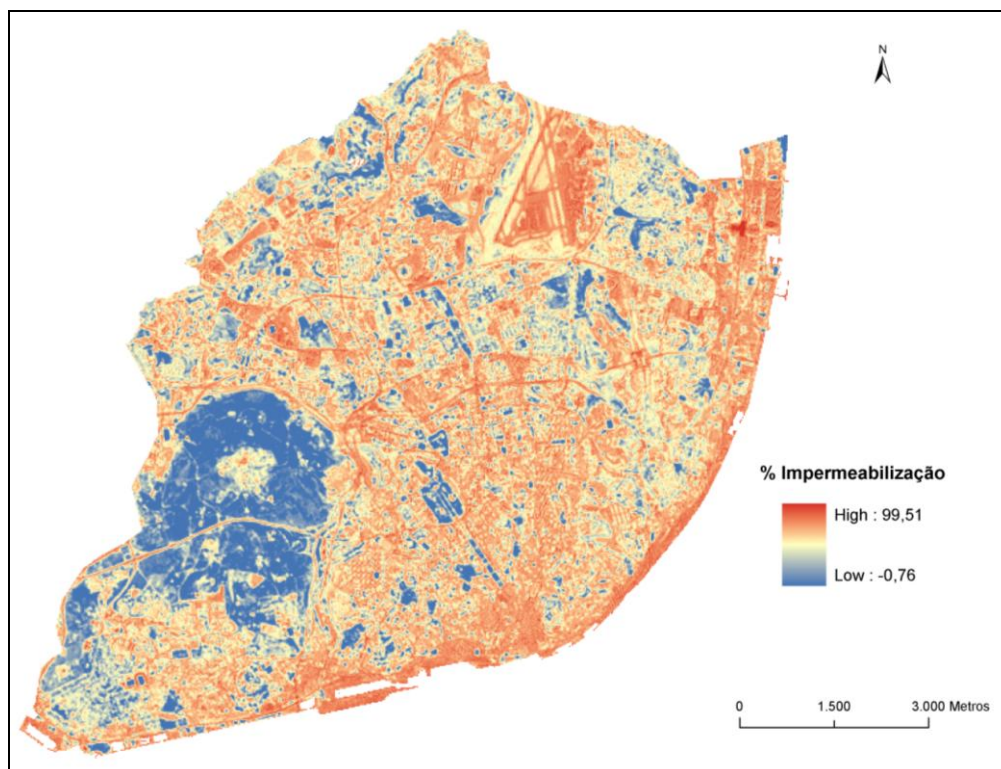


Figura 19. Mapa de impermeabilização do solo (Imagem LISS III, 2006).

5.3 Análise de área verde por freguesia

Nesta secção apresentam-se mapas para oito indicadores de análise de área verde. Os três primeiros mapas mostram a percentagem de área da freguesia que é ocupada por espaços verdes e que são os seguintes: % de verde total, % de verde de parques e jardins públicos e % de área verde privada ou arruamentos. O quarto e quinto mapas mostram como está dividida a área verde da freguesia, respectivamente, a percentagem da área verde da freguesia que é composta por parques e jardins públicos e a percentagem da área verde da freguesia que é composta por verde privado ou de arruamento. Na tabela 18 apresentam-se os valores, para cada freguesia, dos indicadores apresentados nos cinco mapas anteriores.

Os três últimos mapas apresentam os seguintes indicadores de área verde por habitante: área verde total por habitante, área verde de parques e jardins públicos por habitante e área verde privada ou de arruamento por habitante. Na tabela 19, apresentam-se os valores, para cada freguesia, dos indicadores de cada tipo de área verde por habitante.

5.3.1 Cálculo de indicadores de espaços verdes

O mapa da figura 20 mostra a percentagem de área verde por freguesia, determinada com base no mapa de NDVI > 0.01. O valor médio de percentagem de área verde no concelho é de 32.10%. A partir da análise por freguesia encontramos uma variação de percentagem com valores mínimos de 0.01 – 5.00% e máximos de 75.01 – 90.00%. Dezanove freguesias, cuja área ocupa 47.50% da área de Lisboa, encontram-se na classe 30.01 - 45.00%, intervalo onde se situa o valor médio do concelho.

A freguesia do Castelo é a que apresenta maior percentagem de verde (78.42%), pois trata-se de uma das menores freguesias de Lisboa cuja área é ocupada principalmente pelo jardim do Castelo de São Jorge. Próximo à freguesia do Castelo encontram-se as três freguesias com menor percentagem de verde, Sacramento, Santa Justa e Sé, na classe 0.01 – 5.00%. Na envolvente a estas três freguesias existem oito freguesias na classe 5.01 – 15.00%. A área da cidade onde a existência de espaços verdes é mais reduzida é composta por onze freguesias que correspondem a 2,39% da área do concelho. Seguem-se as freguesias de São Cristóvão e São Lourenço, Socorro, São Vicente de Fora, Santa Engrácia, Santos-o-Velho, Prazeres, Anjos, Coração de Jesus, São Jorge de Arroios, Nossa Senhora de Fátima, Alvalade e Charneca na classe 15.01 – 30.00%, cuja área ocupa 11.54% da área de Lisboa. As freguesias que se encontram nas primeiras quatro classes do mapa têm valor de percentagem de verde inferior ao valor médio do concelho e a sua área corresponde a 13.93 % da área de Lisboa.

A percentagem de verde aumenta do centro para a periferia, sendo essa variação mais evidente na zona ocidental da cidade onde se situa o Parque Florestal de Monsanto e o Parque da Tapada da Ajuda. A freguesia de Benfica tem 75.28% da sua área ocupada por espaços verdes, valor que se deve principalmente à área ocupada pelo Parque Florestal de Monsanto. As freguesias de Alcântara e São Francisco Xavier estão na classe 60.01 – 75.00%, devendo-se este valor elevado de percentagem de verde, essencialmente, à área ocupada pelo Parque Florestal de Monsanto. No caso de Alcântara, o Parque da Tapada da Ajuda é outro grande contributo para a freguesia se encontrar nesta classe. As freguesias da Ajuda, Santa Maria de Belém, São Sebastião da Pedreira, São Domingos de Benfica, Campo Grande, São João de Brito e Ameixoeira estão na classe 45.01 – 60.00%,

portanto, com valor superior ao valor médio do concelho. As freguesias que se encontram nas últimas quatro classes do mapa têm valor de percentagem de verde superior ao valor médio do concelho e a sua área corresponde a 38.57 % da área de Lisboa.

Podemos concluir que apenas 13.93 % da área de Lisboa é composta por freguesias com baixo valor de percentagem de área verde, no entanto, trata-se de um valor global de percentagem de verde, como tal não é possível concluir que, nas restantes freguesias, a distribuição de espaços verdes seja suficiente para os habitantes.

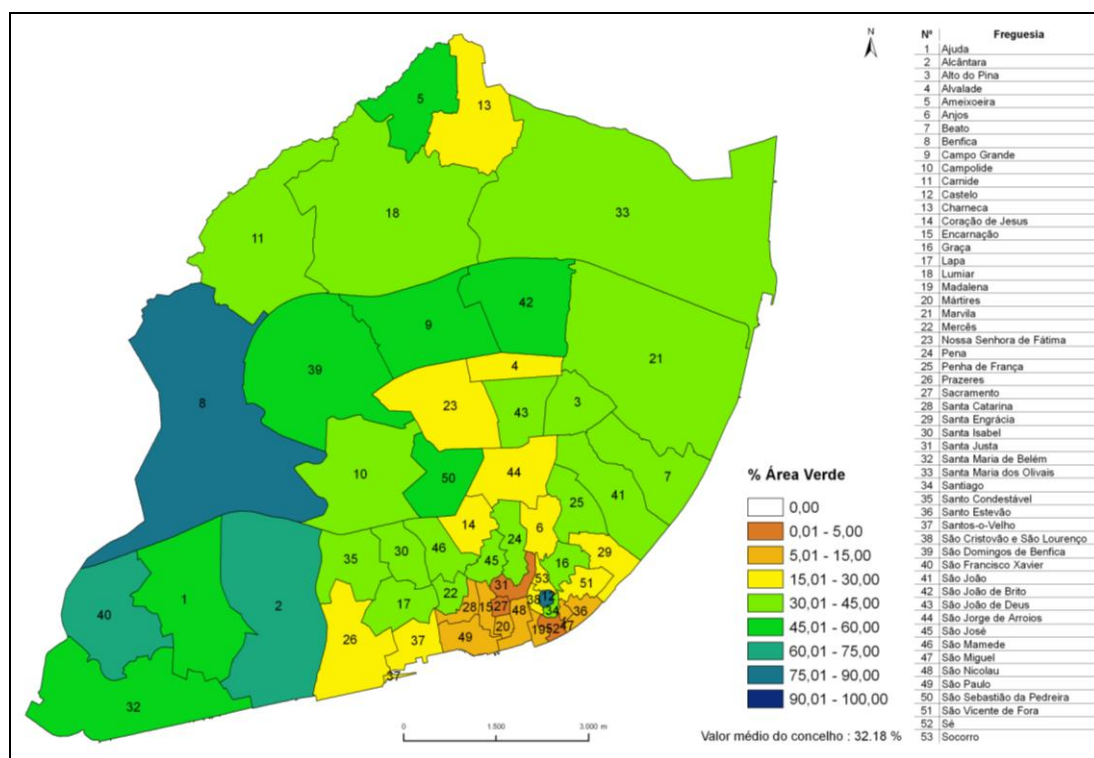


Figura 20. Freguesias de Lisboa - Percentagem de área verde.

O mapa da figura 21 mostra a percentagem de área verde por freguesia, referente a parques e jardins públicos ou de uso público possível, determinada com base no mapa de NDVI > 0.01. O valor médio de percentagem de área verde de parques e jardins públicos no concelho é de 8.11 %, valor muito inferior ao valor médio de verde total do concelho, 32.18%. O mapa apresenta uma variação de percentagem com valores mínimos de 0% para treze freguesias no centro da cidade e máximos de 45.01 – 60.00 % para as freguesias do Castelo, Benfica e Alcântara.

Comparando o mapa da figura 21 com o mapa da figura 20, verifica-se que todas as freguesias transitam para classes de menor valor. Treze freguesias têm percentagem nula, o que significa que a percentagem de verde visível no mapa da figura 20 corresponde a verde de arruamento ou a áreas verdes de uso privado.

O mapa da figura 22 mostra a percentagem de área verde por freguesia, referente a áreas verdes privadas ou de arruamentos, determinada com base no mapa de $NDVI > 0.01$. Estas áreas verdes representam grande parte do total de verde existente na cidade, uma vez que o seu valor médio no concelho é de 24.07% e que o valor médio de verde total no concelho é de 32.18%. Este mapa apresenta uma variação de percentagem com valores mínimos de 0.01 – 5.00% para as freguesias Sacramento, Santa Justa e Sé e máximos de 45.01 – 60.00 % para as freguesias São João de Brito e Ameixoeira.

Comparando o mapa da figura 22 com o mapa da figura 20, verifica-se que trinta e oito freguesias mantêm as mesmas classes de percentagem de verde e que quinze freguesias transitam para classes de menor valor. As freguesias que mantêm as mesmas classes nos dois mapas são as que não têm parques e jardins públicos, ou então aquelas que têm parques ou jardins cuja área corresponde a uma pequena percentagem da área da freguesia. As freguesias que transitam para classes de menor valor são principalmente freguesias onde se localizam grandes parques ou jardins públicos, como se pode verificar na figura 6. Das quinze freguesias que mudam de classe, a redução mais acentuada de percentagem de verde, ocorre nas freguesias do Castelo, Benfica, Alcântara, São Sebastião da Pedreira, Ajuda e São Francisco Xavier.

As freguesias do Castelo e Benfica transitam da classe 75.01 – 90.00% para a classe 15.01 - 30.00%. Na freguesia do Castelo, a mudança de classe deve-se principalmente ao facto do Jardim do Castelo de São Jorge ocupar grande parte da área da freguesia. Na freguesia de Benfica situa-se o maior parque da cidade, o Parque Florestal de Monsanto.

A freguesia de Alcântara, que apresentava um valor total de percentagem de verde na classe 60.01 – 75.00%, tem apenas 15.01 – 30.00% da sua área ocupada por verde de arruamentos ou áreas verdes privadas. Esta freguesia tem grande parte da sua área ocupada pelo Parque Florestal de Monsanto e Parque da Tapada da Ajuda.

A freguesia de São Sebastião da Pedreira, no mapa da figura 20, está na classe 45.01-60.00%, mas no mapa da figura 22 encontra-se na classe 5.01-15.00%. Esta mudança deve-se principalmente à localização do Parque Eduardo VII nesta freguesia.

A freguesia da Ajuda, que apresentava um valor total de percentagem de verde na classe 45.01-60.00%, no mapa de áreas verdes privadas ou de arruamento, encontra-se na classe 15.01-30.00%. Esta freguesia tem parte da sua área ocupada pelo Parque Florestal de Monsanto.

A freguesia de São Francisco Xavier também apresenta uma mudança significativa, enquanto no mapa da figura 20 está na classe 60.01-75.00%, no mapa da figura 22 está na classe 30.01-45.00%.

As restantes freguesias, Campo Grande, São Domingos de Benfica, Santa Maria de Belém, Marvila, Beato, Campolide, Mercês, São Mamede e Alto do Pina, descem apenas uma classe.

No mapa da figura 21, verificamos que as freguesias do Castelo, Benfica, Alcântara, São Sebastião da Pedreira, Ajuda e São Francisco Xavier se encontram nas classes mais elevadas deste mapa. Castelo, Benfica e Alcântara, na classe 45.01-60.00%, e São Sebastião da Pedreira, Ajuda e São Francisco Xavier, na classe 30.01-45.00%. São Francisco Xavier, nos mapas das figuras 21 e 22, encontra-se na mesma classe, 30.01-45.00%, o que significa que, nesta freguesia, a percentagem de área verde de parques e jardins públicos e a percentagem de área verde privada ou de arruamentos é aproximadamente igual.

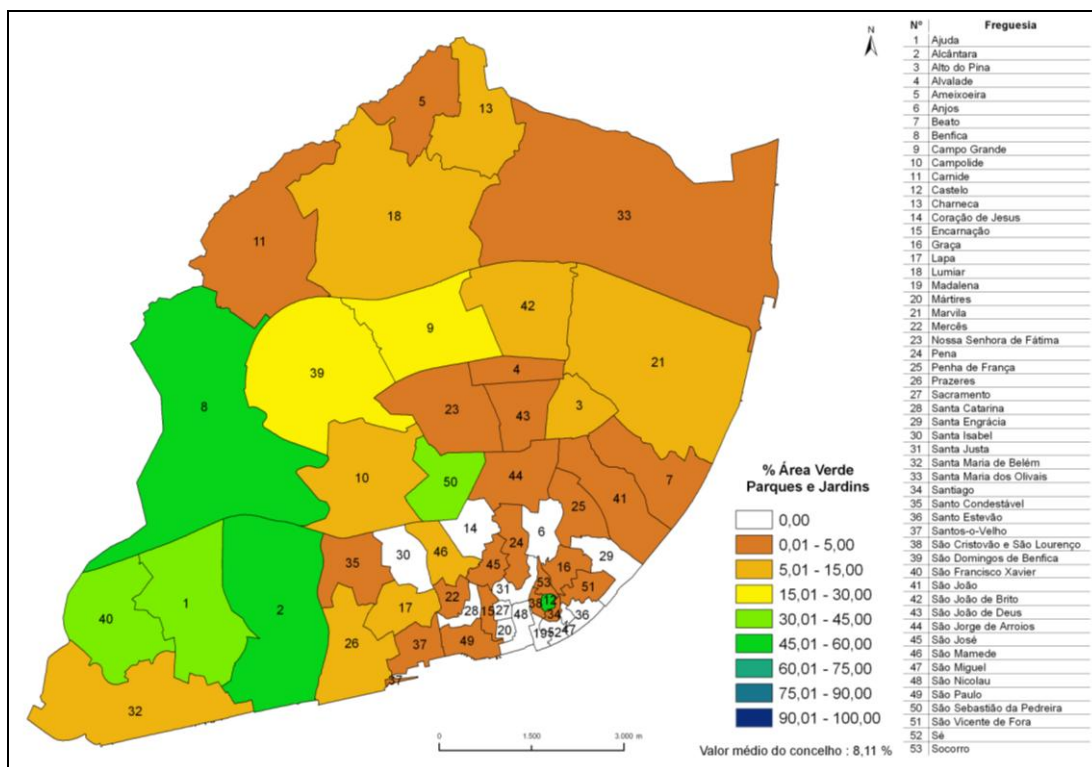


Figura 21. Freguesias de Lisboa - Percentagem de área verde de parques e jardins públicos.

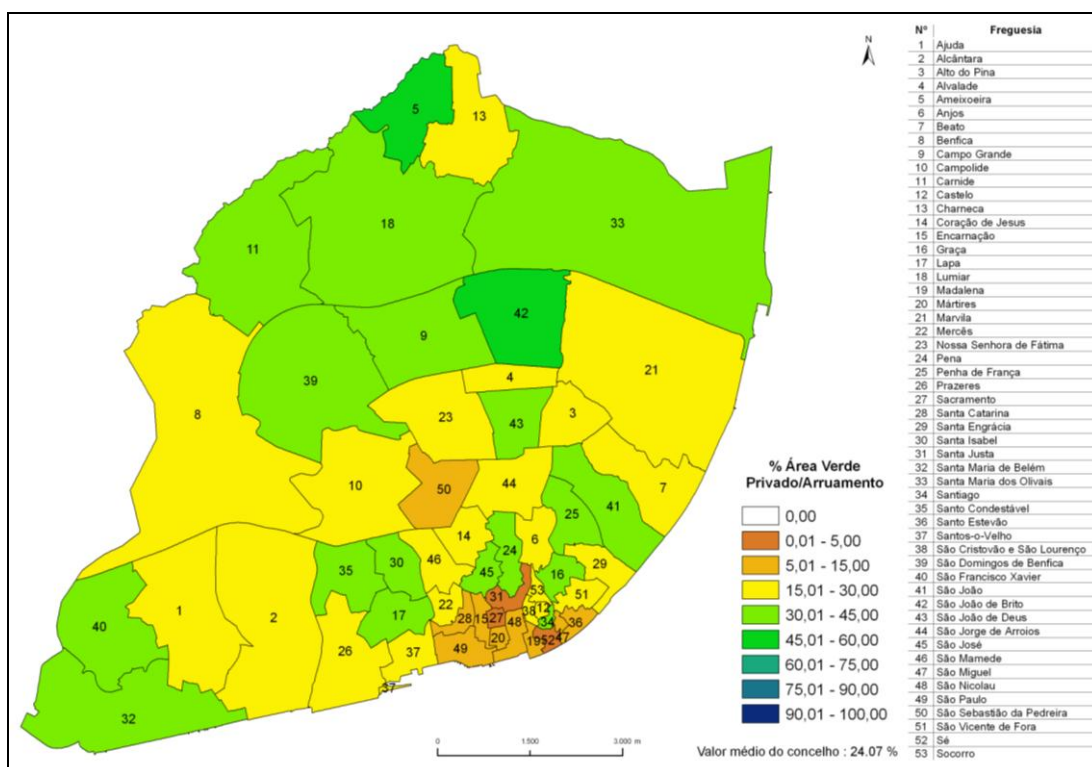


Figura 22. Freguesias de Lisboa - Percentagem de área verde privada ou de arruamentos.

Os mapas das figuras 23 e 24 mostram, respectivamente, a percentagem de área verde da freguesia que corresponde a parques e jardins públicos e a percentagem de área verde da freguesia que corresponde a áreas verdes privadas ou de arruamentos.

Alcântara é a freguesia da cidade cuja área verde apresenta maior percentagem de parques e jardins públicos, 75.01 – 90.00%, contrastando com o mapa da figura 24 onde se encontra na classe 15.01-30.00%. A freguesia de São Sebastião da Pedreira, que no mapa da figura 23, está na classe 60.01 – 75.00% e que, no mapa da figura 24, está na classe 15.01 – 30.00%, é sem dúvida uma freguesia onde predomina o verde de parques e jardins públicos. As freguesias da Ajuda, Benfica e Castelo, no mapa da figura 23, estão na classe 60.01 – 75.00%, no mapa da figura 24 encontram-se na classe 30.01 – 45.00%. Nestas freguesias continua a predominar a área verde ocupada por parques e jardins públicos. A freguesia de São Francisco Xavier encontra-se na classe 45.01 – 60.00% nos dois mapas, uma vez que, nesta freguesia, a área verde ocupada por parques e jardins públicos é aproximadamente igual à área ocupada por verde privado ou de arruamentos.

Da comparação dos mapas das figuras 20, 21 e 22 também se conclui que, nas freguesias referidas anteriormente, a maior percentagem de área verde corresponde a parques e jardins públicos, excepto para a freguesia de São Francisco Xavier onde também se verificou que a área verde da freguesia tem aproximadamente o mesmo valor dos dois tipos de área verde.

Nas restantes freguesias, a área verde predominante é privada ou de arruamento, situação que se verifica principalmente nas freguesias que, no mapa da figura 23, estão nas classe 0% e 0.01-5.00% e que no mapa da figura 24, estão na classe 90.01-100%. As freguesias de Santa Maria dos Olivais, São Vicente de Fora, São Mamede e Santos-o-Velho, no mapa da figura 23, estão na classe 5.01-15.00% e, no mapa da figura 24, também se encontram na classe 90.01-100%.

As freguesias, onde a área verde predominante é privada ou de arruamentos, ocupam aproximadamente 77.98% da área do concelho. As freguesias onde predomina a área verde de parques e jardins públicos abrangem somente 22.02% da área do concelho.

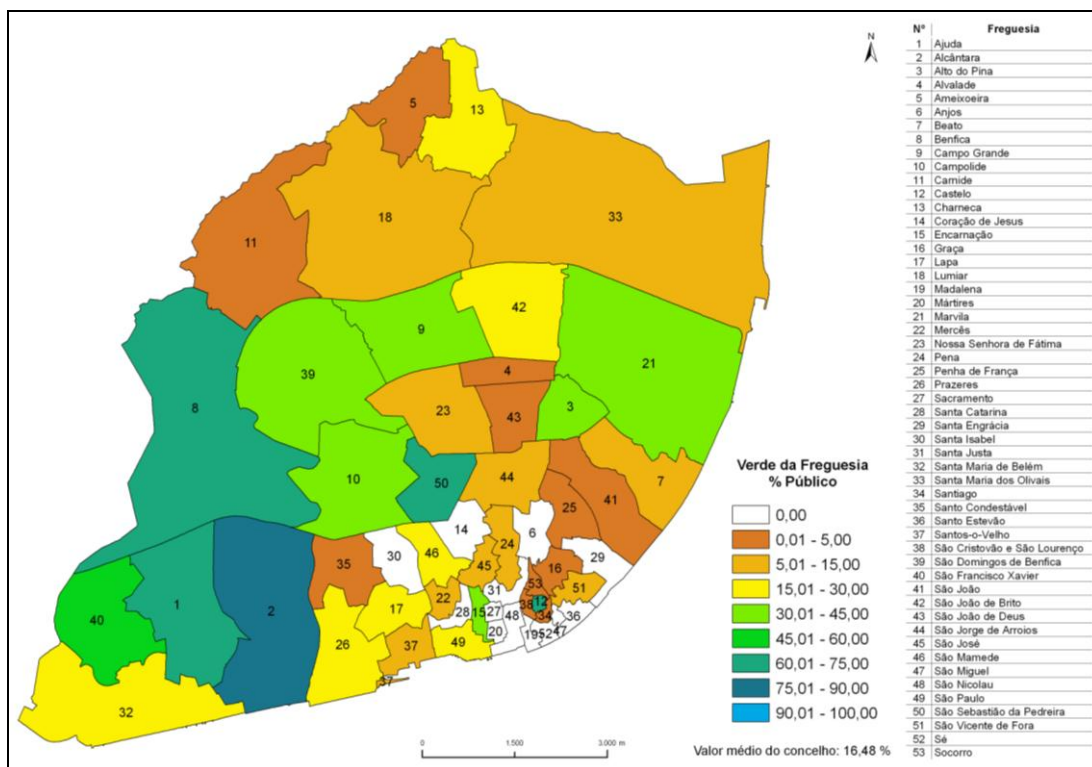


Figura 23. Percentagem da área verde da freguesia que é de parques ou jardins públicos.

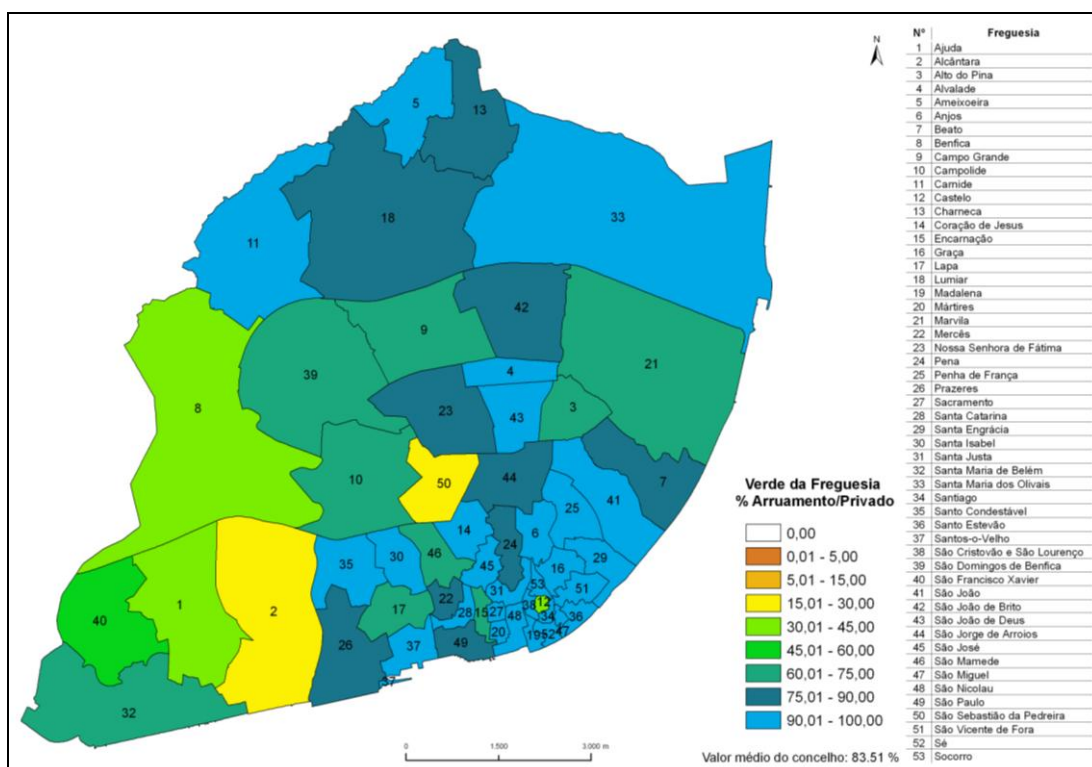


Figura 24. Percentagem da área verde da freguesia que é privada ou de arruamentos.

A tabela 18 apresenta os valores dos cinco indicadores de percentagem de área verde, apresentados nos mapas anteriores.

Nº	FREGUESIA	Verde Total %	Verde Público %	Verde Privado Arruamento %	Verde da Freguesia Público %	Verde da Freguesia Privado/ Arruamento %
1	Ajuda	58,12	37,96	20,16	65,31	34,69
2	Alcântara	68,52	53,30	15,22	77,79	22,21
3	Alto do Pina	32,15	9,75	22,40	30,33	69,67
4	Alvalade	26,32	0,64	25,68	2,43	97,57
5	Ameixoeira	46,89	0,99	45,90	2,10	97,90
6	Anjos	17,26	0,00	17,26	0,00	100,00
7	Beato	34,04	4,34	29,70	12,74	87,26
8	Benfica	75,28	46,96	28,32	62,38	37,62
9	Campo Grande	52,69	18,59	34,10	35,28	64,72
10	Campolide	41,44	13,08	28,36	31,56	68,44
11	Carnide	42,77	0,37	42,40	0,87	99,13
12	Castelo	78,42	54,00	24,42	68,86	31,14
13	Charneca	29,25	5,37	23,88	18,36	81,64
14	Coração de Jesus	23,93	0,00	23,93	0,00	100,00
15	Encarnação	10,24	3,65	6,59	35,69	64,31
16	Graça	32,36	0,38	31,98	1,17	98,83
17	Lapa	44,11	11,58	32,53	26,25	73,75
18	Lumiar	43,20	5,73	37,47	13,27	86,73
19	Madalena	5,37	0,00	5,37	0,00	100,00
20	Mártires	5,71	0,00	5,71	0,00	100,00
21	Marvila	39,14	12,20	26,94	31,17	68,83
22	Mercês	33,85	4,74	29,11	13,99	86,01
23	Nossa Sra. de Fátima	29,42	4,37	25,05	14,85	85,15
24	Pena	36,99	4,23	32,76	11,42	88,58
25	Penha de França	31,05	0,09	30,96	0,28	99,72
26	Prazeres	26,98	6,74	20,24	24,97	75,03
27	Sacramento	3,75	0,00	3,75	0,00	100,00
28	Sta. Catarina	14,89	0,00	14,89	0,00	100,00
29	Sta. Engrácia	22,32	0,00	22,32	0,00	100,00
30	Sta. Isabel	32,21	0,00	32,21	0,00	100,00
31	Sta. Justa	3,59	0,00	3,59	0,00	100,00
32	Sta. Maria de Belém	49,72	13,22	36,50	26,59	73,41
33	Sta. Maria dos Olivais	33,71	2,13	31,58	6,32	93,68
34	Santiago	42,21	0,33	41,88	0,78	99,22
35	Sto. Condestável	33,51	0,60	32,91	1,78	98,22
36	Sto. Estevão	5,12	0,00	5,12	0,00	100,00
37	Santos-o-Velho	16,94	1,05	15,89	6,22	93,78

(continuação na página seguinte)

(continuação da página anterior)

Nº	FREGUESIA	Verde Total %	Verde Público %	Verde Privado Arruamento %	Verde da Freguesia Público %	Verde da Freguesia Privado/ Arruamento %
38	S. Cristovão e S. Lourenço	22,20	0,36	21,84	1,64	98,36
39	S. Domingos de Benfica	48,44	17,01	31,43	35,12	64,88
40	S. Francisco Xavier	68,17	33,95	34,22	49,80	50,20
41	S. João	30,48	0,11	30,37	0,37	99,63
42	S. João de Brito	59,22	9,74	49,48	16,44	83,56
43	S. João de Deus	33,65	1,42	32,23	4,21	95,79
44	S. Jorge de Arroios	18,87	2,11	16,76	11,16	88,84
45	S. José	37,66	3,61	34,05	9,60	90,40
46	S. Mamede	39,53	9,96	29,57	25,20	74,80
47	S. Miguel	5,43	0,00	5,43	0,00	100,00
48	S. Nicolau	7,61	0,00	7,61	0,00	100,00
49	S. Paulo	7,32	1,38	5,94	18,85	81,15
50	S. Sebastião da Pedreira	45,29	32,09	13,20	70,85	29,15
51	S. Vicente de Fora	27,92	1,47	26,45	5,27	94,73
52	Sé	3,68	0,00	3,68	0,00	100,00
53	Socorro	26,85	0,65	26,20	2,41	97,59

Tabela 18. Indicadores de percentagem de área verde para as freguesias de Lisboa.

A figura 25 ilustra a análise de área verde total por população residente, de cada freguesia. A figura 26 apresenta a área verde de parques e jardins públicos por habitante. A figura 27 demonstra a área verde privada ou de arruamentos por habitante.

Observando o mapa da figura 25, verificamos que a área verde por habitante aumenta do centro da cidade para a periferia, sendo também visível, neste mapa, que a zona ocidental da cidade é a mais beneficiada. O valor médio, no concelho, de área verde por habitante é de 46.75 m^2 . O valor mínimo de área verde por habitante encontra-se entre 0.01 e 15.00 m^2 , para doze freguesias no centro de Lisboa cuja área total é 336.68 ha , correspondendo a 3.97% da área do concelho. O valor máximo de área verde por habitante é superior a 120 m^2 , para quatro freguesias na zona ocidental da cidade que ocupam uma área total de 1808.12 ha , correspondendo a 21.34% da área do concelho.

Exceptuando a freguesia do Castelo, o centro da cidade é a área do concelho onde os habitantes têm menos área verde disponível. Esta situação é mais acentuada quando se trata de parques e jardins públicos, como se pode verificar na figura 26,

onde a área verde por habitante se distribui entre as classes 0.00 m², 0.01-5.01 m² e 5.01 – 15.00 m². No mapa da figura 27, as freguesias do centro da cidade encontram-se nas classes 0.01-5.00 m², 5.01-15.00 m², 15.01-30.00 m² e 30.01-45.00 m², podendo-se concluir que a área verde disponível aos residentes do centro de Lisboa é principalmente privada ou de arruamentos.

Na figura 25, as freguesias de Alcântara, Benfica, São Francisco Xavier e Santa Maria de Belém apresentam o valor mais elevado de área verde por habitante (> 120.00 m²). Na figura 26, Alcântara apresenta igualmente área verde por habitante superior a 120.00 m² e Benfica encontra-se na classe 90.01-105.00 m². No entanto, na figura 27, estas duas freguesias estão na classe 45.01 – 60.00 m². Pode-se concluir que o elevado valor de área verde por habitante, para estas duas freguesias, deve-se principalmente a parques e jardins públicos. A freguesia de São Francisco Xavier, nos mapas das figuras 26 e 27, encontra-se na classe 90.01-105.00 m². Nesta freguesia os habitantes dispõem, aproximadamente, do mesmo valor de área verde de parques e jardins públicos e de área verde privada ou de arruamentos. Santa Maria de Belém, no mapa da figura 26, está na classe 45.01-60.00 m² enquanto, no mapa da figura 27, apresenta mais de 120 m² de área verde por habitante. A comparação destes dois mapas permite concluir que, das quatro freguesias que apresentam o maior valor de área verde por habitante, Santa Maria de Belém é a única cuja área verde disponível aos residentes é principalmente privada ou de arruamentos.

A freguesia do Campo Grande, na figura 25, encontra-se na classe 105.01 – 120.00 m². Observando, nas figuras 26 e 27, as classes a que pertence esta freguesia, concluímos que predominam os espaços verdes privados ou de arruamentos, embora aqui se localizem os jardins públicos do Campo Grande e da Alameda da Cidade Universitária.

As freguesias de São João de Brito e Ajuda, na figura 25, estão na classe 90.01-105.00 m². As classes a que pertencem estas freguesias, nas figuras 26 e 27, permitem concluir que, em São João de Brito, predominam as áreas verdes privadas ou de arruamento e que na freguesia da Ajuda, encontramos a situação contrária, predominando os parques e jardins públicos.

Na figura 25, as freguesias de Carnide, Santa Maria dos Olivais e São Sebastião da Pedreira encontram-se na classe 75.01-90.00 m². Nos mapas das figuras 26 e 27,

as classes onde se encontra a freguesia de São Sebastião da Pedreira permitem concluir que a sua área verde é composta principalmente por parques ou jardins públicos, destacando-se o Parque Eduardo VII. Quanto às freguesias de Carnide e Santa Maria dos Olivais, as classes a que pertencem têm valor mais elevado no mapa da figura 27 do que no mapa da figura 26, daí que os habitantes tenham disponíveis principalmente áreas verdes privadas ou de arruamento. Na freguesia de Carnide é ainda mais evidente esta situação.

Na figura 25, as freguesias de Ameixoeira, Lumiar, São Domingos de Benfica, Campolide, Marvila e Castelo encontram-se na classe 60.01-75.00 m². Comparando os mapas das figuras 26 e 27, verificamos que apenas na freguesia do Castelo predomina a área verde de jardins públicos. Para as restantes freguesias, a área verde existente é principalmente privada ou de arruamentos, situação que é mais acentuada na freguesia da Ameixoeira.

Na figura 25, as freguesias dos Prazeres e Charneca pertencem à classe 45.01-60.00m², na figura 26, estão na classe 5.01-15.00 m² e, na figura 27, estão na classe 30.01-45.00 m². Mais uma vez se verifica que a área verde privada ou de arruamentos é superior à área verde de parques e jardins públicos.

Apenas nas freguesias de Alcântara, Benfica, Ajuda, Castelo e São Sebastião da Pedreira a área verde de parques e jardins públicos, disponível aos residentes, é superior à área verde privada ou de arruamentos.

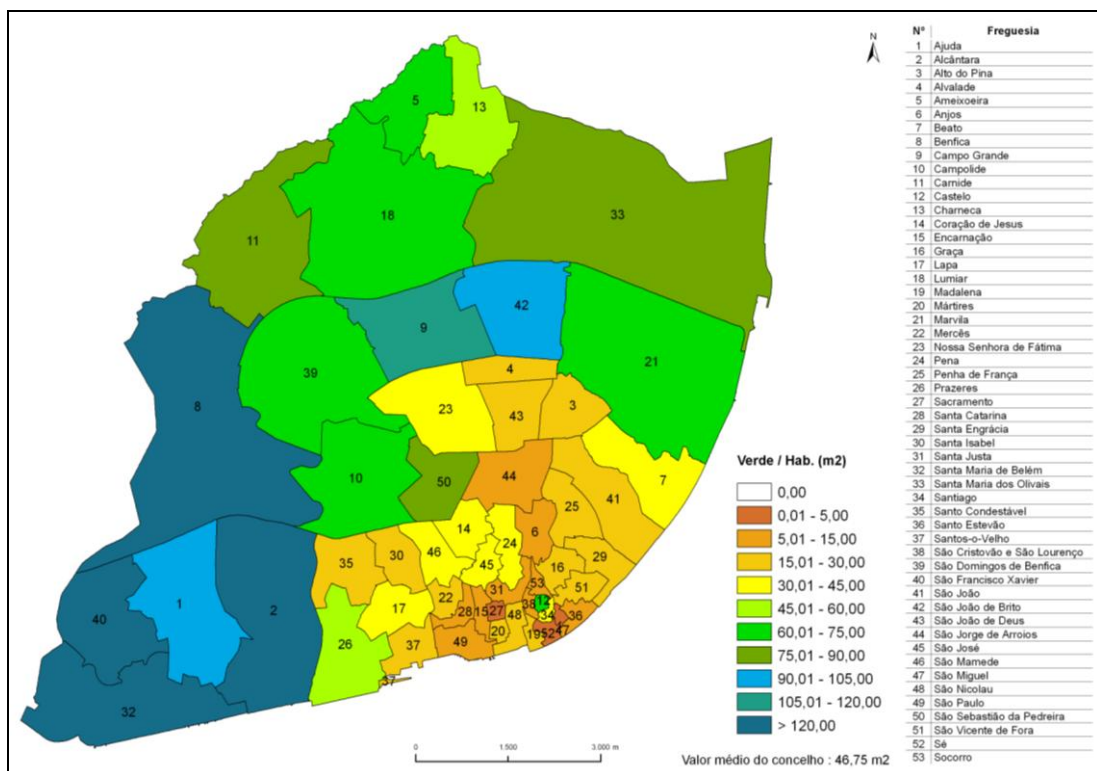


Figura 25. Freguesias de Lisboa - Índice de área verde por habitante.

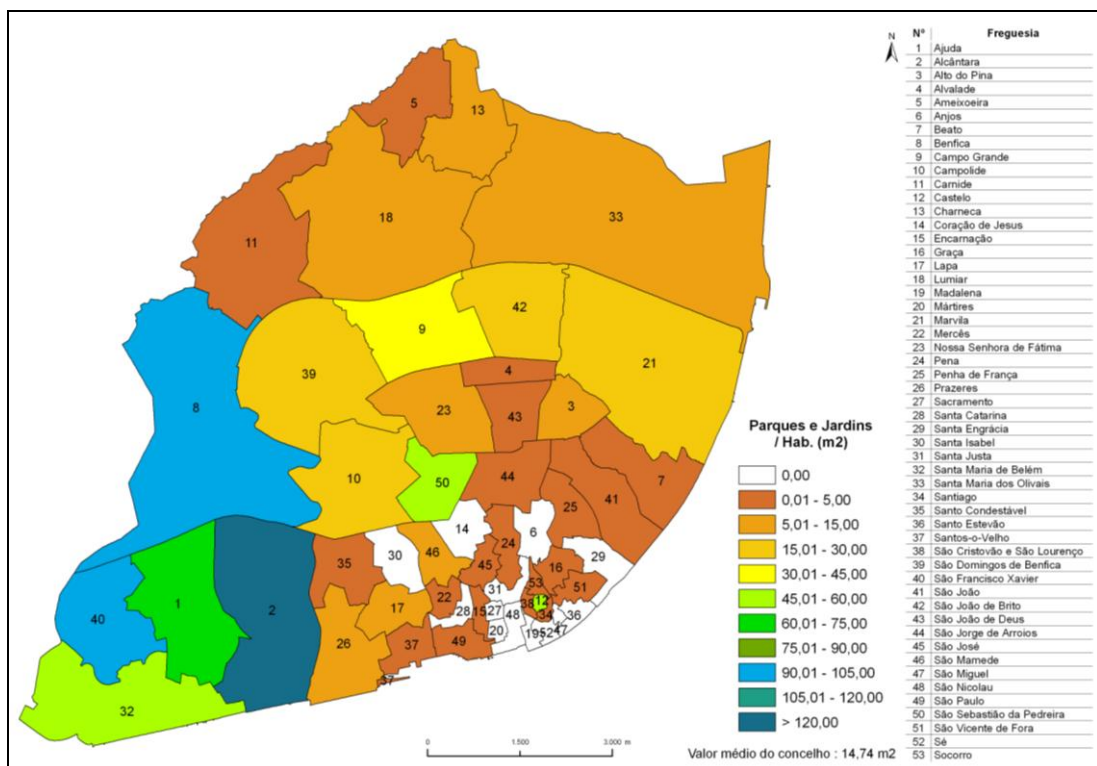


Figura 26. Freguesias de Lisboa - Índice de área verde de parques e jardins públicos por habitante.

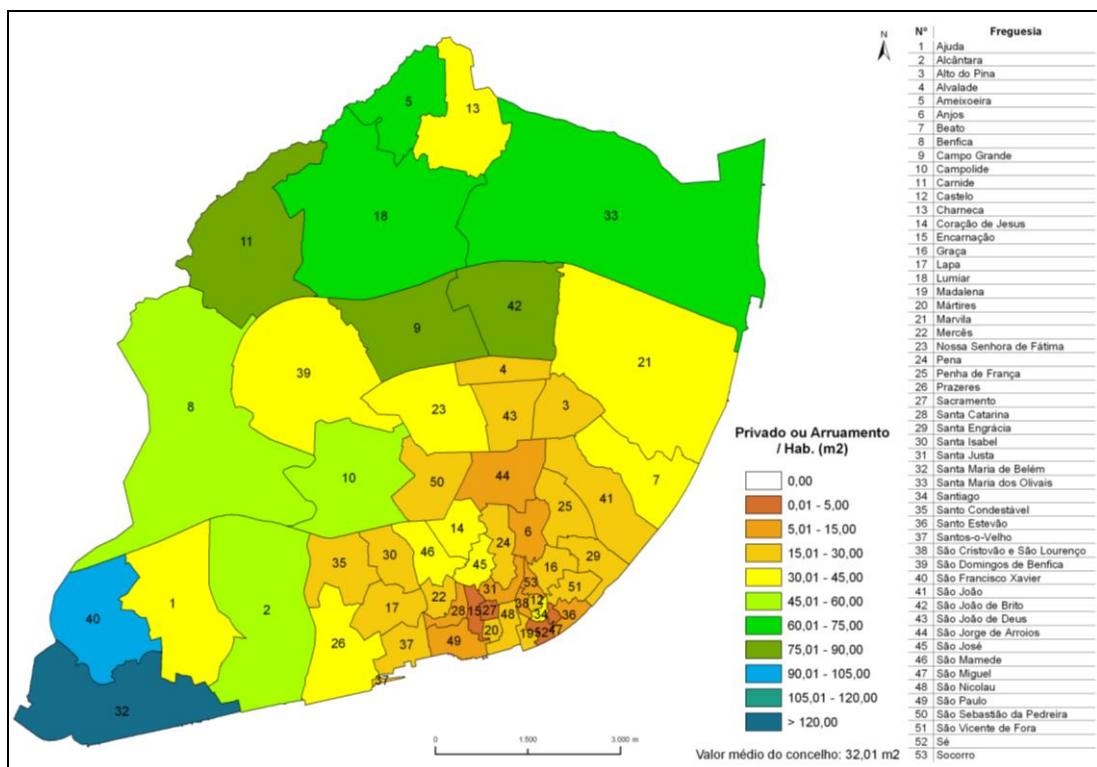


Figura 27. Freguesias de Lisboa - Índice de área verde privada ou de arruamentos por habitante.

A tabela 19 apresenta os valores dos indicadores de área verde por habitante, apresentados nos três mapas anteriores.

Nº	FREGUESIA	População Verde m ²	População Parques/Jardins m ²	População Privado/Arruamentos m ²
1	Ajuda	95,11	62,11	33,00
2	Alcântara	209,38	162,88	46,50
3	Alto do Pina	25,91	7,86	18,05
4	Alvalade	16,16	0,39	15,77
5	Ameixoeira	74,24	1,56	72,68
6	Anjos	8,67	0,00	8,67
7	Beato	36,94	4,71	32,23
8	Benfica	145,08	90,50	54,58
9	Campo Grande	116,40	41,06	75,34
10	Campolide	71,52	22,57	48,95
11	Carnide	85,02	0,74	84,28
12	Castelo	71,55	49,27	22,28
13	Charneca	53,28	9,78	43,50
14	Coração de Jesus	31,03	0,00	31,03

(continuação na página seguinte)

(continuação da página anterior)

Nº	FREGUESIA	População Verde m ²	População Parques/Jardins m ²	População Privado/Arruamentos m ²
15	Encarnação	6,03	2,15	3,88
16	Graça	16,38	0,19	16,19
17	Lapa	37,60	9,87	27,73
18	Lumiar	72,82	9,66	63,16
19	Madalena	16,84	0,00	16,84
20	Mártires	16,42	0,00	16,42
21	Marvila	63,63	19,83	43,80
22	Mercês	17,91	2,51	15,40
23	Nossa Senhora de Fátima	36,83	5,47	31,36
24	Pena	31,18	3,56	27,62
25	Penha de França	16,07	0,05	16,02
26	Prazeres	49,79	12,43	37,36
27	Sacramento	3,64	0,00	3,64
28	Santa Catarina	7,74	0,00	7,74
29	Santa Engrácia	20,41	0,00	20,41
30	Santa Isabel	27,79	0,00	27,79
31	Santa Justa	12,57	0,00	12,57
32	Santa Maria de Belém	175,15	46,57	128,58
33	Santa Maria dos Olivais	79,40	5,02	74,38
34	Santiago	32,21	0,25	31,96
35	Santo Condestável	19,67	0,35	19,32
36	Santo Estevão	5,08	0,00	5,08
37	Santos-o-Velho	22,93	1,43	21,50
38	São Cristovão e São Lourenço	10,67	0,17	10,50
39	São Domingos de Benfica	62,21	21,85	40,36
40	São Francisco Xavier	183,09	91,18	91,91
41	São João	26,94	0,10	26,84
42	São João de Brito	100,44	16,52	83,92
43	São João de Deus	28,97	1,22	27,75
44	São Jorge de Arroios	12,44	1,39	11,05
45	São José	38,07	3,65	34,42
46	São Mamede	40,31	10,16	30,15
47	São Miguel	1,58	0,00	1,58
48	São Nicolau	17,02	0,00	17,02
49	São Paulo	9,09	1,71	7,38
50	São Sebastião da Pedreira	83,53	59,18	24,35
51	São Vicente de Fora	20,53	1,08	19,45
52	Sé	3,79	0,00	3,79
53	Socorro	11,21	0,27	10,94

Tabela 19. Indicadores de área verde por habitante, nas freguesias de Lisboa.

5.3.2 Análise de correlação entre indicadores de espaços verdes e variáveis dos censos

A tabela 20 e a figura 28 mostram os resultados da análise de correlação entre a percentagem de verde (variável dependente) e o ano médio de construção dos edifícios (variável independente), por freguesia.

Observando o gráfico de dispersão da figura 28, parece haver alguma tendência para a percentagem de verde ser maior nos bairros mais recentes.

O coeficiente de correlação R , que mede o grau de relação entre duas variáveis, apresenta um valor \hat{r} de 0.4945, tratando-se portanto de uma situação de correlação positiva moderada. O coeficiente de determinação R^2 tem um valor de 0.2445, mostrando este resultado que 24.45% das variações da percentagem de verde podem ser explicadas por variações do ano médio de construção dos edifícios.

No gráfico da figura 28, a dispersão de pontos mostra que, até ao ano de 1940, a maioria das freguesias tem área verde inferior a 20%. No entanto, existem algumas com percentagem superior, destacando-se São Mamede, São José e Pena, com valores de 35 – 40 %, e Santiago com 42%.

De 1940 a 1950 existem algumas freguesias com área verde inferior a 30%, mas a maioria está acima deste valor, destacando-se as freguesias da Ajuda com 58.1% e Alcântara com 68.5%.

De 1950 a 1960 existem igualmente freguesias com área verde inferior a 30%, no entanto, existem também freguesias com área verde superior a 50%, como por exemplo São João de Brito (59.2%) e Castelo (78.4%). As freguesias da Sé e Castelo apresentam o mesmo ano médio de construção (1954), mas a área verde na freguesia da Sé é de 3.7%.

De 1960 a 1970, todas as freguesias têm área verde superior a 30%, excepto a freguesia de Sacramento, com 3.75%. São Francisco Xavier e Benfica são as freguesias com percentagem de área verde mais elevada, respectivamente 66.82% e 74.98%.

A freguesia com construção mais antiga é a de Santiago (1924) e a freguesia com construção mais recente é a do Lumiar (1974). A percentagem de área verde destas freguesias tem valor muito próximo, respectivamente 42.2% e 43.1%.

Edifícios	Recta	R2	R
Ano médio de construção	$Y = 0.7953x - 1516.4$	0.2445	0.4945

Tabela 20. Freguesias - Recta de regressão e estatísticas de correlação entre as variáveis, % de área verde e ano médio de construção dos edifícios.

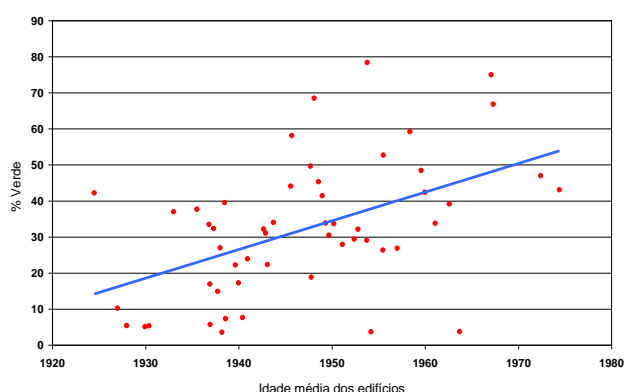


Figura 28. Freguesias - Gráfico de dispersão descritivo da relação entre as variáveis, % de área verde e ano médio de construção dos edifícios.

A tabela 21 e a figura 29 mostram os resultados da análise de correlação entre a variável dependente percentagem de verde e as variáveis independentes ocupação dos edifícios, residencial (ER_PR) ou principalmente não residencial (PNR), por freguesia.

O coeficiente de correlação R, que mede o grau de relação entre as duas variáveis, apresenta um valor de 0.5097, tratando-se portanto de uma situação de correlação positiva moderada. O coeficiente de determinação R^2 tem um valor de 0.2598, mostrando este resultado que 25.98% das variações da percentagem de verde podem ser explicadas por variações da variável ER_PR.

A percentagem de área verde aumenta à medida que aumenta a variável ER_PR. No entanto, a freguesia de Santiago e principalmente a do Castelo são excepção, uma vez que têm elevada percentagem de área verde, mas um valor baixo da variável ER_PR, porque se tratam de freguesias com poucos edifícios.

Para a variável PNR, o coeficiente de determinação R^2 tem o valor de 0.0262, mostrando este resultado que apenas 2.62 % das variações percentagem de verde podem ser explicadas por variações da variável PNR. O coeficiente de correlação R tem valor negativo de -0.1619, e perante os baixos valores de R^2 e R , a correlação entre a variável PNR e a percentagem de verde é muito fraca.

Uso	Recta	R^2	R
PNR	$Y = -0.1527x + 35.685$	0.0262	-0.1619
PR + ER	$Y = 0.0122x + 20.092$	0.2598	0.5097

Tabela 21. Freguesias - Recta de regressão e estatísticas de correlação entre as variáveis, % de área verde e ocupação dos edifícios.

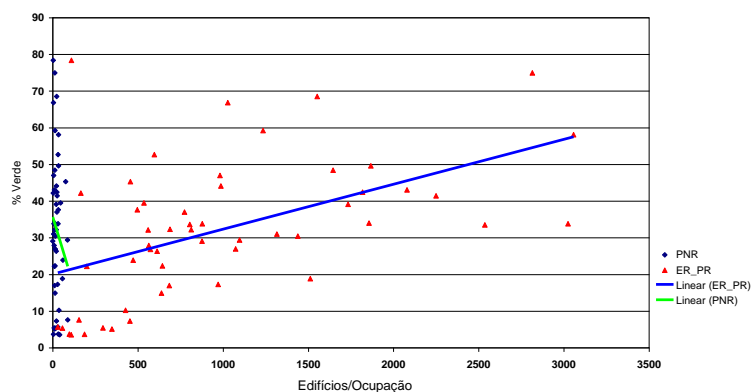


Figura 29. Freguesias - Gráfico de dispersão descritivo da relação entre as variáveis, % de área verde e ocupação dos edifícios.

A tabela 22 e a figura 30 mostram os resultados da análise de correlação entre a percentagem de verde (variável dependente) e a população residente empregada (variável independente), por freguesia.

À medida que aumenta o número de população residente empregada, aumenta também a percentagem de verde. O coeficiente de correlação é positivo, portanto, estamos perante uma situação de correlação positiva. O coeficiente de determinação R^2 tem um valor de 0.1986, mostrando este resultado que 19.86% das variações da percentagem de verde podem ser explicadas por variações do número de população empregada existente em cada freguesia. O coeficiente de correlação R tem o valor de 0.4456, tratando-se portanto de uma situação de correlação positiva moderada.

A percentagem de verde aumenta à medida que aumenta o número de residentes com emprego, mas a freguesia de Santiago e principalmente a do Castelo são novamente excepção, uma vez que têm percentagem de área verde elevada, mas poucos residentes empregados. As duas freguesias têm poucos habitantes e, segundo os censos de 2001, a maioria é constituída por reformados ou indivíduos sem actividade económica.

Actividade / População	Recta	R ²	R
Empregados	$y = 0,0017x + 24,195$	0,1986	0,4456

Tabela 22. Freguesias - Recta de regressão e estatísticas de correlação entre as variáveis, % de área verde e população empregada.

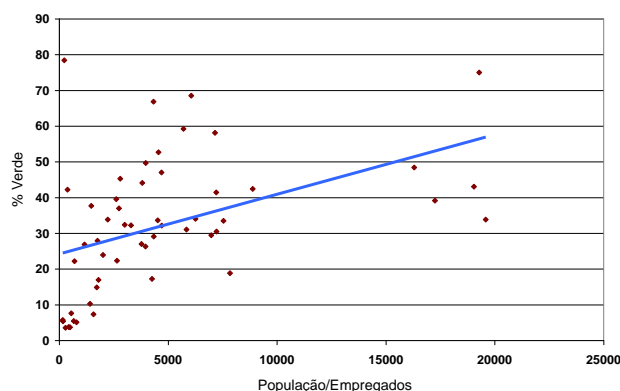


Figura 30. Freguesias - Gráfico de dispersão descritivo da relação entre as variáveis, % de área verde e população empregada.

5.4 Análise de área verde por secção estatística

Nesta secção apresentam-se mapas para seis indicadores de análise de área verde por secção estatística. Os três primeiros mapas mostram a percentagem de área da secção que é ocupada por espaços verdes: % de verde total, % de verde de parques e jardins públicos e % de área verde privada ou de arruamentos. Os três últimos mapas apresentam indicadores de área verde por habitante, para cada secção estatística: área verde total, área verde de parques e jardins públicos e área verde privada ou de arruamentos.

5.4.1 Cálculo de indicadores de espaços verdes

O mapa da figura 31 ilustra a percentagem de espaços verdes por secção estatística. Esta unidade administrativa possibilita analisar, com maior detalhe, a distribuição de áreas verdes dentro de cada freguesia, verificando-se que a maioria não é homogénea. Existem secções com grande percentagem de verde, principalmente junto a parques e jardins públicos, o que contrasta com secções onde se encontram grandes áreas de construções e, portanto, uma baixa percentagem de verde que, em alguns casos, chega a ser nula.

As freguesias do Castelo, Mártires, Santiago e Santa Justa são as únicas que apresentam uma distribuição homogénea de área verde. Castelo e Mártires têm uma única secção estatística cujos limites coincidem com os limites da freguesia. Santa Justa e Santiago estão divididas em duas secções com a mesma percentagem de verde.

A área ribeirinha da cidade tem poucos espaços verdes, existindo secções nas classes 15.01-30.00% e 30.01-45.00% apenas nas freguesias de Santa Maria de Belém, Santa Engrácia e Santa Maria dos Olivais.

Em algumas freguesias, as secções com maior percentagem de verde estão dispersas por toda a freguesia, mas existem outras onde a maior percentagem de verde está concentrada apenas numa área da freguesia. As freguesias de São Sebastião da Pedreira e Santa Maria dos Olivais são dois exemplos onde existem muitos espaços verdes concentrados numa determinada área da freguesia. Na freguesia de Santa Maria de Olivais, existe elevada percentagem de áreas verdes aproximadamente no meio da freguesia, o que contrasta com a secção onde se situa o aeroporto, na classe 15.01 – 30.00%, e as secções do Parque das Nações, nas classes 0.01 – 15.00% e 15.01 – 30.00%. No limite do concelho, junto ao Jardim dos Jacarandás, temos uma secção na classe 30.01 – 45.00%. A freguesia de São Sebastião da Pedreira está claramente dividida em duas partes: de um lado, principalmente secções nas classes de 45.01-60.00% e 60.01-75.00%, onde se localiza o Parque Eduardo VII e Jardim Amália Rodrigues; de outro lado, secções nas classes 5.01-15.00% e 15.01-30% onde existe a maioria dos edifícios da freguesia.

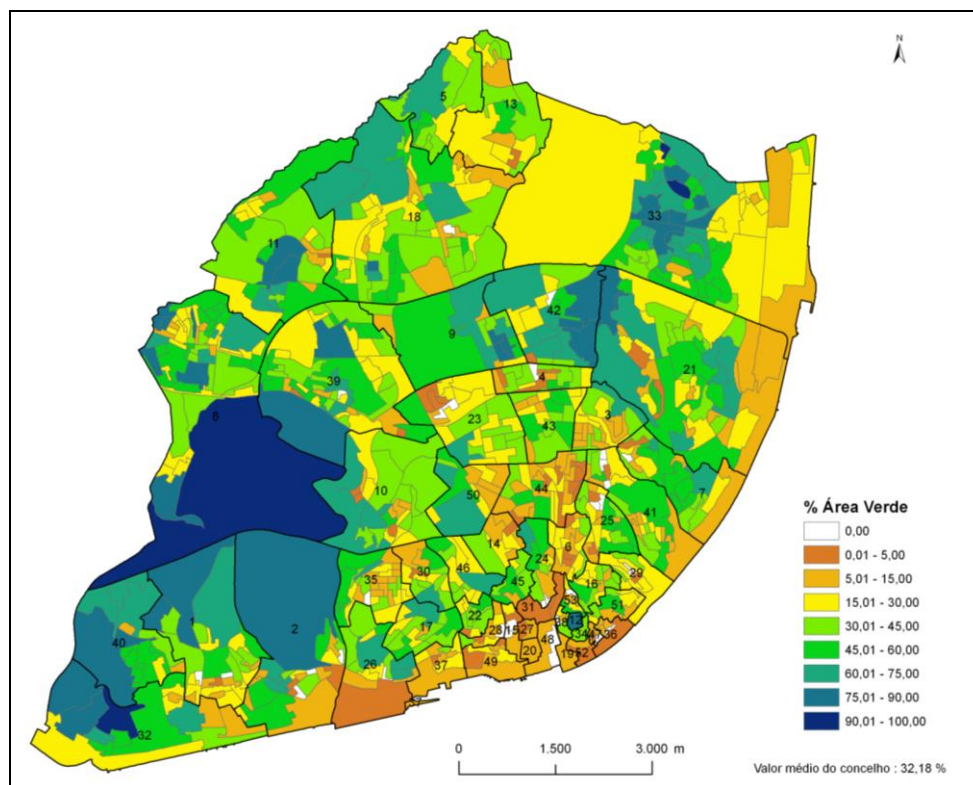


Figura 31. Secções estatísticas de Lisboa - Percentagem de área verde.

Observando a figura 32, podemos visualizar as secções estatísticas onde estão localizados os parques e jardins públicos ou de uso público possível. Com este mapa verificamos que existem muitas secções que se encontram na classe 0%, tratando-se das áreas da cidade onde não existem estes equipamentos. Nas secções que apresentam elevada percentagem de verde, a partir da classe 45.01-60.00%, localizam-se principalmente os parques urbanos e jardins de grande área.

A figura 33 apresenta a percentagem de área verde privada ou de arruamentos, por secção estatística. Comparando os mapas das figuras 32 e 33, é possível verificar que as secções onde estão inseridos os parques e jardins transitam das classes de elevada percentagem de verde, na figura 32, para classes de baixa percentagem de verde, na figura 33.

Já tínhamos verificado, na figura 31, que na freguesia de Santa Maria dos Olivais, existe grande concentração de espaços verdes na sua área central. Com os mapas das figuras 32 e 33 concluímos que, na sua maioria, esses espaços verdes são privados ou de arruamentos.

Na figura 31, a freguesia de São João de Brito é composta por secções que se encontram principalmente nas classes 60.01-75.00% e 75.01 – 90.00%. Com os mapas das figuras 32 e 33, verificamos que a elevada percentagem de verde, do lado direito da freguesia, é área verde pública do Parque da Bela Vista, e que, do lado esquerdo, são áreas verdes privadas ou de arruamento.

Na freguesia de Benfica, a sul, existe a área verde pública do Parque Florestal de Monsanto, enquanto a norte predominam as áreas verdes privadas ou de arruamentos, exceptuando a secção onde se situa o Parque Silva Porto. Em Alcântara temos a situação contrária. A norte destaca-se a área verde pública do Parque Florestal de Monsanto e do Parque da Tapada da Ajuda, enquanto a sul existe uma pequena área onde a predominância é de áreas verdes privadas ou de arruamentos.

Em Santa Maria de Belém, mapas anteriores mostram que a percentagem de áreas verdes privadas ou de arruamento é superior à existente para áreas verdes públicas. Na figura 33, verifica-se que a área verde privada ou de arruamento se concentra principalmente em quatro secções, duas na classe 45.01 – 60.00% e as outras duas nas classes 60.01 – 75.00% e 75.01 – 90.00%.

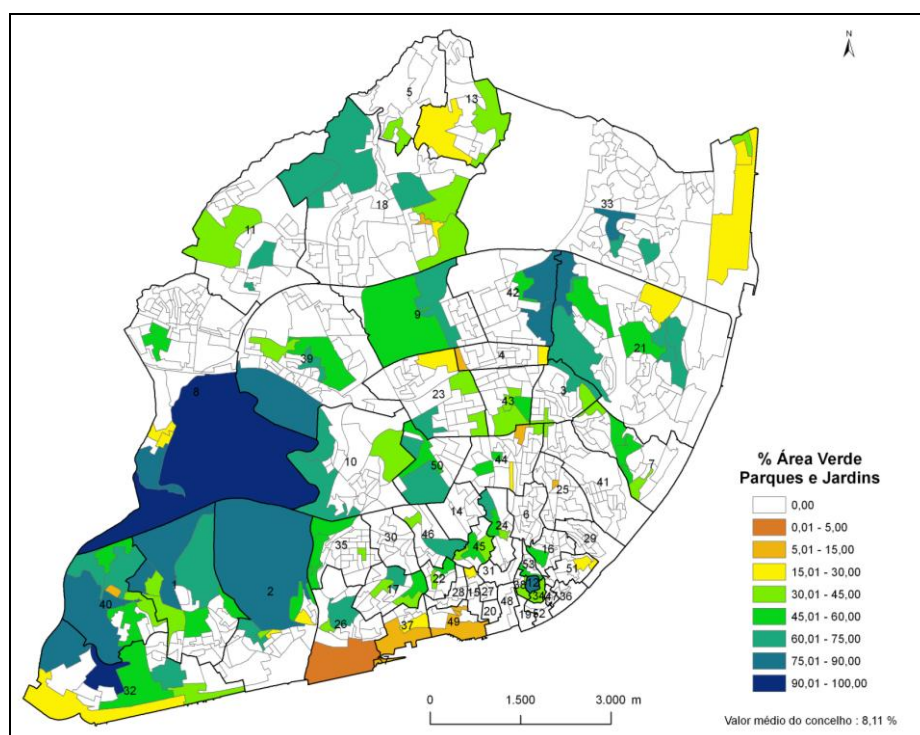


Figura 32. Secções estatísticas de Lisboa - Percentagem de área verde de parques e jardins públicos.

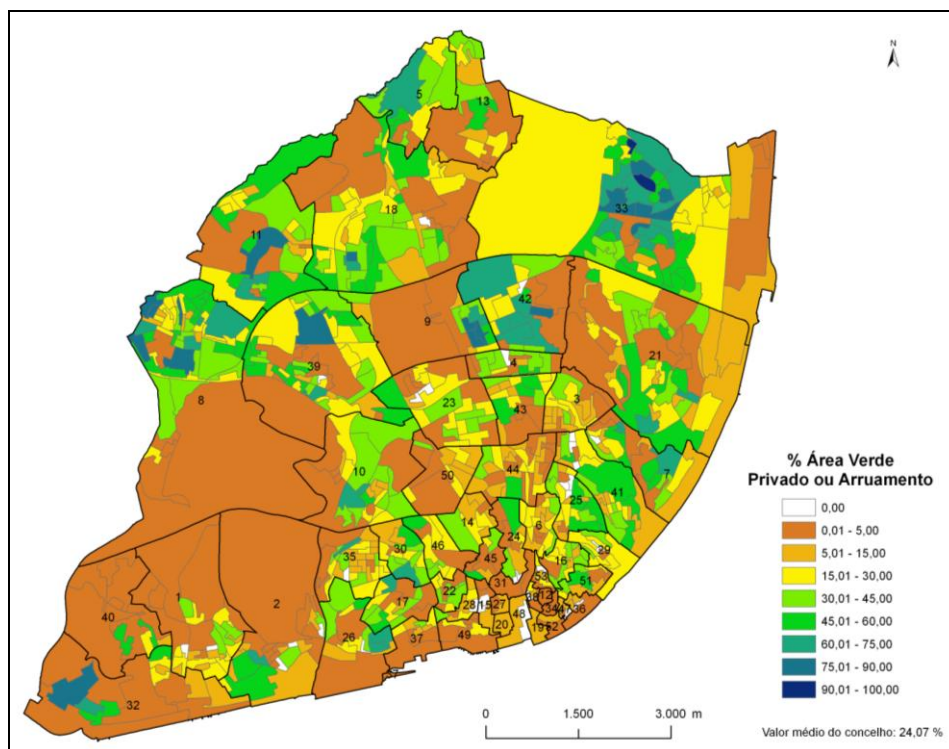


Figura 33. Secções estatísticas de Lisboa - Percentagem de área verde privada ou de arruamentos.

As próximas três figuras, 34, 35 e 36, contêm mapas que ilustram a distribuição de área verde por habitante, para cada secção estatística, respectivamente, área verde total, área verde de parques e jardins públicos e área verde privada ou de arruamentos.

No mapa da figura 34, observamos que as secções onde existe maior área verde por habitante são principalmente as que contêm parques e jardins públicos, situação que também se pode verificar no mapa da figura 35. Estas secções apresentam muita área verde e baixo número de habitantes, daí que a área verde por habitante seja elevada.

O aeroporto localiza-se numa secção onde existem alguns espaços verdes, mas um baixo número de residentes, portanto, esta secção também se encontra numa classe elevada de área verde total, por habitante. Observando os mapas das figuras 35 e 36, verificamos que se trata de uma secção onde não existe qualquer parque ou jardim público e onde as áreas verdes existentes são privadas ou de arruamentos.

O Parque das Nações tem secções com elevado valor de área verde por habitante, principalmente nos mapas das figuras 34 e 35. No entanto, a área verde foi avaliada segundo uma imagem de satélite obtida em 2006 e os dados dos censos referem-se ao ano de 2001. Em 2001 existia menos habitação construída nesta área da cidade e, portanto, um número de residentes muito inferior ao existente em 2006. Como tal, os valores encontrados podem ser muito diferentes dos reais. A diferença entre a data de aquisição da imagem de satélite e a data de realização dos censos existe para toda a cidade, no entanto, em áreas consolidadas, os valores encontrados podem estar mais próximos da realidade.

Na figura 35, existem muitas secções onde a área verde de parques e jardins públicos por habitante é de 0 m², pois são locais onde não existem estes equipamentos. Comparando com os mapas das figuras 35 e 36, concluímos que existem muitas secções na cidade de Lisboa onde a população tem alguns espaços verdes, não do tipo parques ou jardins públicos, mas sim áreas verdes privadas ou de arruamentos.

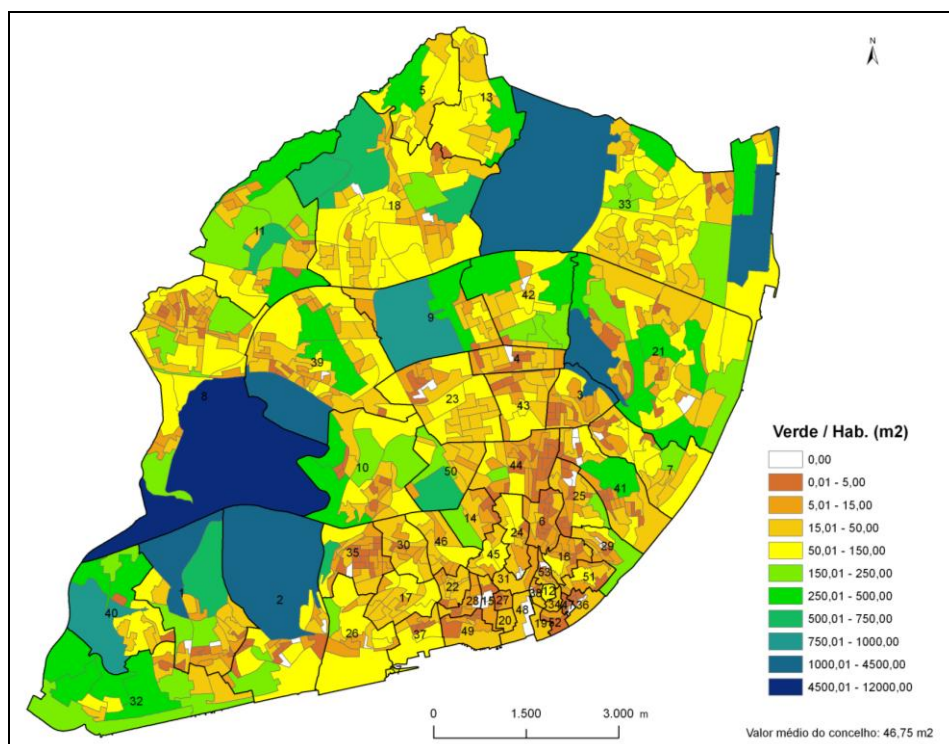


Figura 34. Secções estatísticas de Lisboa - Área verde por habitante.

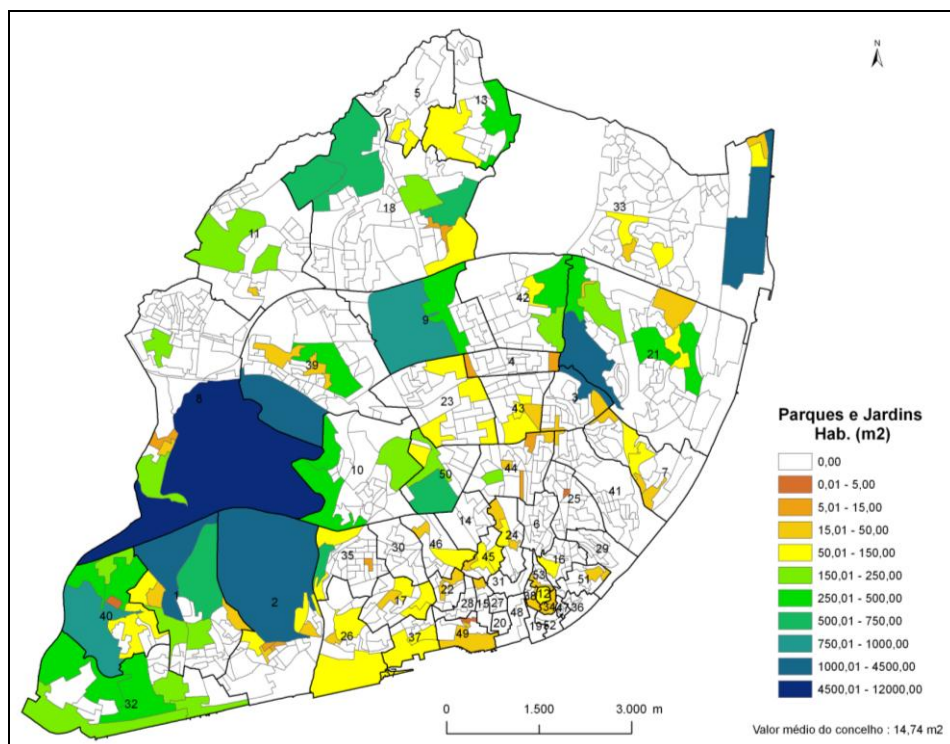


Figura 35. Secções estatísticas de Lisboa - Área verde de parques e jardins públicos, por habitante.

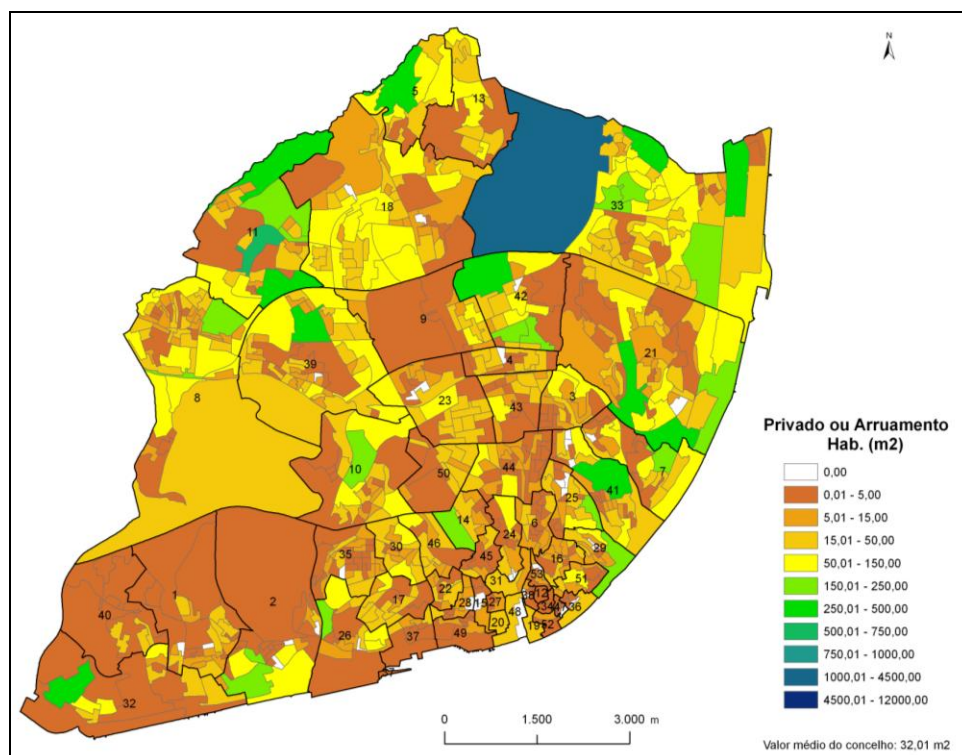


Figura 36. Secções estatísticas - Área verde privada ou de arruamentos, por habitante.

5.4.2 Análise de correlação entre indicadores de espaços verdes e variáveis dos censos

A tabela 23 e a figura 37 mostram os resultados da análise de correlação entre a percentagem de verde (variável dependente) e o ano médio de construção dos edifícios (variável independente), por secção estatística.

A correlação existente entre as duas variáveis é muito fraca. O coeficiente de determinação R^2 tem um valor muito baixo de 0.0211, revelando este resultado que apenas 2.11% das variações da percentagem de verde podem ser explicadas por variações do ano médio de construção. O coeficiente de correlação R tem também um valor baixo de 0.1453, mostrando fraca correlação entre as duas variáveis.

Edifícios	Recta	R^2	R
Ano médio de construção	$Y = 0,1693x - 299,76$	0,0211	0,1453

Tabela 23. Secções - Recta de regressão e estatísticas de correlação entre as variáveis, % de área verde e ano médio de construção dos edifícios.

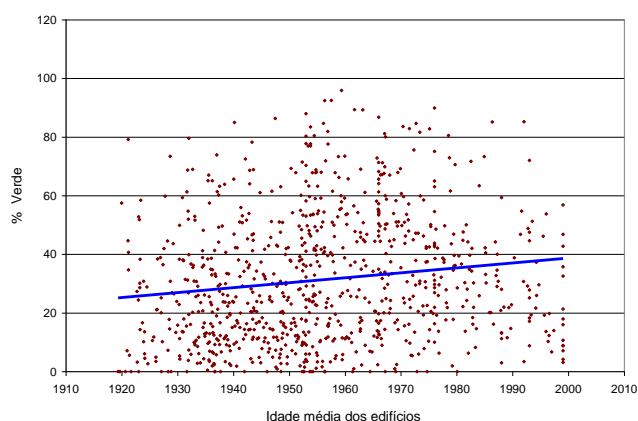


Figura 37. Secções - Gráfico de dispersão da relação entre as variáveis, % de área verde e ano médio de construção dos edifícios.

A tabela 24 e a figura 38 mostram os resultados da análise de correlação entre a variável dependente percentagem de verde e as variáveis independentes ocupação dos edifícios, residencial (ER_PR) ou principalmente não residencial (PNR), por secção estatística.

A correlação existente entre as duas variáveis é muito fraca. O coeficiente de determinação R^2 tem um valor muito baixo de 0.0327, mostrando este resultado

que apenas 3.27% das variações da percentagem de verde podem ser explicadas por variações de ER_PR. O coeficiente de correlação R também tem um valor baixo (0.1808), mostrando fraca correlação entre as duas variáveis.

Para a variável PNR, o coeficiente de determinação R^2 tem um valor de 0.0095, revelando este resultado que apenas 0.95 % das variações da percentagem de verde podem ser explicadas por variações de PNR. O coeficiente de correlação R tem valor de -0.0975, daí que, perante os baixos valores de R^2 e R, possamos concluir que não existe correlação entre as variáveis.

Ocupação de Edifícios	Recta	R^2	R
Principalmente não Residencial	$y = -0,5578x + 32,09$	0,0095	-0,0975
Residencial (ER + PR)	$y = 0,0788x + 26,645$	0,0327	0,1808

Tabela 24. Secções - Recta de regressão e estatísticas de correlação entre as variáveis, % de área verde e ocupação dos edifícios.

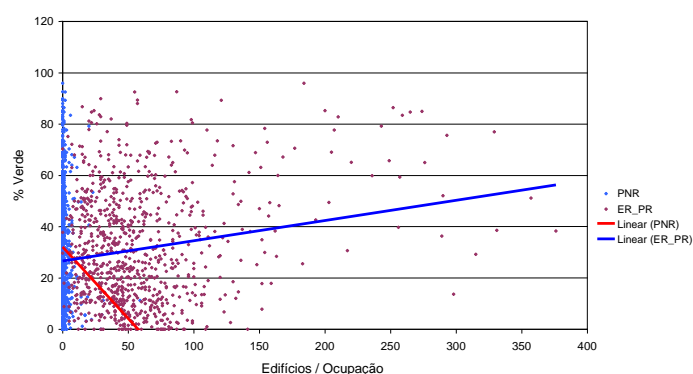


Figura 38. Secções - Gráfico de dispersão da relação entre as variáveis, % de área verde e ocupação dos edifícios.

A tabela 25 e a figura 39 mostram os resultados da análise de correlação entre a % de verde (variável dependente) e a população residente empregada (variável independente), para as secções estatísticas.

A correlação existente entre as duas variáveis é muito fraca. O coeficiente de determinação R^2 tem um valor muito baixo de 0.0219, mostrando este resultado que apenas 2.19% das variações da percentagem de verde podem ser explicadas por variações do número de residentes com emprego. O coeficiente de correlação

R tem também um valor baixo de 0.1480, mostrando fraca correlação entre as duas variáveis.

Actividade / População	Recta	R ²	R
Empregados	$y = 0,0291x + 23,007$	0,0219	0,1480

Tabela 25. Secções - Recta de regressão e estatísticas de correlação entre as variáveis, % de área verde e população empregada.

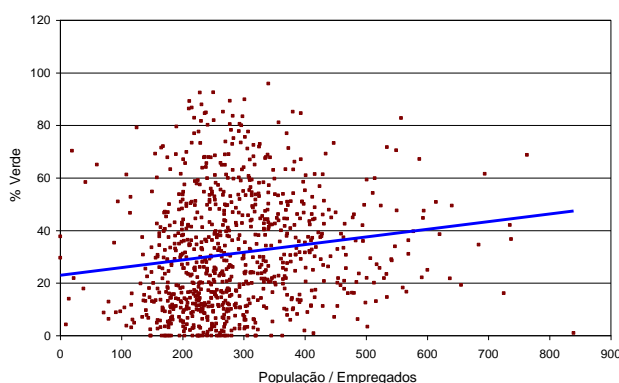


Figura 39. Secções - Gráfico de dispersão da relação entre as variáveis, % de área verde e população empregada.

A análise de correlação entre percentagem de verde e variáveis dos censos, nas freguesias, mostrou existir uma correlação moderada entre variáveis excepto para a variável PNR. A análise de correlação entre as mesmas variáveis, nas secções estatísticas, mostrou existir fraca correlação entre variáveis. Para a variável PNR, os valores encontrados para R^2 e R são ainda mais baixos, não existindo correlação.

Em todas as freguesias existem áreas verdes, edifícios construídos em épocas diferentes, tanto residenciais como não residenciais, e população residente empregada, mas nas secções, esta situação nem sempre se verifica. Existem secções com toda ou grande parte da sua área ocupada por espaços verdes, pelo que o número de edifícios existentes na secção é muito reduzido ou nulo e a população residente também é muito reduzida ou nula. Outras secções apresentam a situação oposta a esta. A sua área é ocupada por vários edifícios com população residente, mas não tem espaços verdes ou os existentes são muito poucos. Qualquer das situações apresentadas, para as secções, tem influência no facto da relação entre variáveis ser muito fraca.

6 CONCLUSÕES

O estudo descrito neste documento pretende avaliar metodologias para extracção de áreas verdes em Lisboa, a partir de imagem de satélite LISS III. A metodologia utilizada pode ser aplicada a outras imagens de satélite, adquiridas por outros sensores e com resolução mais adequada a meios urbanos. Este é um aspecto importante, uma vez que a CML é uma das entidades participantes no projecto de investigação *GeoSat*, no qual estão a ser utilizadas imagens Quickbird e IKONOS.

A metodologia de extracção de informação das imagens baseou-se em cálculo de NDVI, classificação assistida e classificação não assistida. Os mapas de áreas verdes derivados dos três tipos de extracção de informação foram verificados quanto a exactidão, através de amostragem estratificada. Verificou-se que o mapa com menor exactidão foi produzido por classificação não assistida, com um valor de exactidão global de 73.00%, e que o mapa com melhor exactidão foi o do NDVI > 0.01, com valor de exactidão global de 86.00%.

Um dos objectivos deste trabalho era avaliar a utilidade da informação extraída da imagem LISS III, para a cartografia de áreas verdes da CML. O mapa da CML foi criado com base em cartografia digital à escala 1/1000, apresentando portanto um pormenor muito diferente da imagem LISS III. Para poder ser feita comparação com as imagens, foi convertido de formato vectorial para *raster* com 20 metros de *pixel*, procedimento que levou à perda de detalhe, principalmente em áreas cujos limites são inferiores a 20 metros. A exactidão do mapa da CML também foi verificada com pontos de amostra observados em ortofotomapas, apresentando um índice de exactidão global de 71.00%. A exactidão global do mapa da CML é inferior à exactidão global dos mapas derivados da imagem LISS III, devendo-se este valor não só à perda de detalhe na conversão de formato vectorial para *raster*, como também a alguns erros de digitalização existentes no mapa. Embora tenham sido feitas várias correcções, o mapa necessita ainda de uma verificação mais pormenorizada. Os valores de exactidão global indicam que o mapa de NDVI > 0.01 representa melhor os espaços verdes em Lisboa do que o mapa produzido pela CML, no entanto estes dois mapas apresentam pormenores muito diferentes. O mapa de NDVI indica manchas onde existem áreas verdes, o mapa da CML limita áreas verdes com base em cartografia 1/1000. Os dois mapas podem ser complementares pois o NDVI permitirá identificar áreas verdes em falta ou

incorrectamente desenhadas, enquanto no mapa da CML, os limites de áreas verdes terão sempre que ser ajustados à cartografia vectorial utilizada no município, pois um *pixel* de 20 metros não corresponde ao detalhe necessário à cartografia 1/1000. Pode-se concluir que a elaboração de cartografia de áreas verdes, produzida através de imagem de satélite LISS III, é de grande utilidade para actualização e rectificação da cartografia vectorial existente no município.

A metodologia utilizada na realização do mapa de nível de impermeabilização do solo apresentou algumas dificuldades, principalmente na escolha de amostras a aplicar no modelo de regressão. Foram testados vários conjuntos de amostras até conseguir um mapa de impermeabilização com valores próximos de 0 – 100%. Embora no mapa criado se possa observar, que as áreas com percentagem de impermeabilização de menor valor correspondem, aproximadamente, às áreas onde existe mais vegetação no mapa de NDVI, deveria ter sido feita verificação da exactidão do mapa de nível de impermeabilização. Mas como o principal objectivo deste trabalho, era avaliação de espaços verdes, a verificação de exactidão foi feita apenas para os mapas de áreas verdes.

Os ortofotomapas foram de extrema importância no processo de classificação de referência das amostras, tanto para as amostras utilizadas na elaboração do mapa de impermeabilização, como para as amostras utilizadas na avaliação da exactidão dos mapas extraídos da imagem LISS III.

A imagem LISS III permitiu realizar um mapa de áreas verdes necessário e suficiente ao cálculo dos indicadores que inicialmente tinham sido previstos calcular. A espacialização dos indicadores de áreas verdes, por freguesia e secção estatística, permite tirar conclusões quanto às áreas mais favorecidas da cidade que se situam em freguesias e secções com proximidade a parques e jardins públicos. Existem áreas da cidade onde estes equipamentos não se encontram e onde a população pode principalmente usufruir de áreas verdes de arruamento ou em alguns casos de áreas verdes privadas. A análise de área verde de parques e jardins públicos teve em conta dois tipos de parques e jardins, respectivamente, com entrada livre e com entrada sujeita a pagamento. No entanto, esta análise poderia ser feita separando os dois tipos de equipamento, uma vez que existem freguesias, como as do Castelo, São Domingos de Benfica, Prazeres, São Mamede, Lumiar, Santa Maria de Belém, Ajuda e São Sebastião da Pedreira, onde

parte da sua área verde de parques e jardins públicos está sujeita a pagamento, tratando-se de uma desvantagem comparativamente a outras freguesias onde a entrada nestes equipamentos é livre. Uma outra análise que poderia ser feita futuramente, e que seria do interesse da CML, refere-se ao cálculo de indicadores de espaços verdes, tendo em conta o tipo de equipamentos existentes nestes espaços. Para este estudo seria necessário ter o levantamento de todos os equipamentos existentes em cada parque ou jardim público, e proceder à avaliação destes espaços verdes não só pela sua dimensão mas também pelos serviços ou actividades que proporcionam à população.

Nas freguesias, o estudo de correlação entre indicadores de áreas verdes e variáveis dos censos apresentou correlação moderada positiva para as variáveis estudadas, excepto para a variável edifícios principalmente não residenciais. Mas para as secções estatísticas, a correlação encontrada é muito fraca. Na bibliografia consultada, os autores encontraram fortes correlações entre a existência de vegetação e as variáveis dos censos, rendimento familiar e valor médio dos alojamentos, portanto, seria pertinente realizar futuramente esta análise para o concelho de Lisboa, uma vez que para este estudo não foi possível ter acesso às referidas variáveis.

O *software* utilizado neste trabalho foi o ArcGIS Spatial Analyst que demonstrou possuir ferramentas suficientes para a metodologia desenvolvida. No entanto, a mesma imagem e metodologia deveriam ser avaliadas em outro *software* que possua algoritmos de classificação diferentes para comparar os resultados provenientes de ambos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Badawi, R., Zhi, X. F., e Shui, Z. Y., 2005, Suitable living condition within cities (URL:<http://www.gisdevelopment.net/application/urban/overview/ma04209pf.htm>, consulta em 25-04-2007).

Bauer, M.E., Nathan, J., Jean, K., e Yuan, F., 2004, Impervious Surface Mapping and Change Monitoring Using Landsat Remote. In *Proceedings of the American Society of Photogrammetry and Remote Sensing Annual Conference* (Colorado), unpaginated CD ROM, 10 pp.

Bauer, M.E., Loffelholz, B., e Wilson, B., 2007, Estimating and Mapping Impervious Surface Area by Regression Analysis of Landsat Imagery. In *Remote Sensing of Impervious Surfaces*, editado por Qihao Weng, (Boca Raton: CRC Press), pp. 3-20.

Caetano, M., 2005, [Apontamentos da disciplina de Detecção Remota, Pós-Graduação e Mestrado em Ciência e Sistemas de Informação Geográfica] (Lisboa: ISEGI – UNL).

Campbell, J. B., 2002, *Introduction to Remote Sensing* (3ª ed.) (New York: Guilford Press).

CML, 2008, Página da Câmara Municipal de Lisboa (URL: <http://lisboaverde.cm-lisboa.pt/index.php?id=5181>, consulta em 20-01-2008).

Cohen, J., Cohen, P., West, S., e Aiken, L., 2003, *Applied Multiple Regression/Correlation Analysis for the Behavioral Sciences* (3ª ed.) (New Jersey: Debra Riegert).

DGOT, 1992, Espaços Verdes Urbanos (Portugal: SEALOT-MPAT).

Embrapa, 2008, Sistemas Orbitais de Monitoramento e Gestão Territorial (URL: <http://www.sat.cnpm.embrapa.br/conteudo/irs.htm>, consulta em 19-02-2008).

ESRI, 2005, ArcGIS desktop help topics for: multivariate statistical analysis. (URL: http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.1/printBooks_topics.cfm?pid=3042, consulta em 11-07-2009).

Filho, D. F., Pivetta, K. F., Couto, H. T., Polizel, J. F., 2005, Indicadores de floresta urbana a partir de imagens aéreas multiespectrais de alta resolução [Versão electrónica]. *Scientia Forestalis*, **67**, 88-100.

Green, K., e Congalton, R., 2004, An error matrix approach to fuzzy accuracy assessment: the NIMA Geocover project. In *Remote Sensing and GIS Accuracy Assessment*, editado por R.S. Lunetta e J.G. Lyon (Boca Raton: CRC Press) pp. 163-172.

Huete, A.R. 1988, A soil adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, **25**, 295-309.

IGP, 2009, Página do Instituto Geográfico Português (URL: http://www.igeo.pt/produtos/Geodesia/Inf_tecnica/sistemas_referencia/Datum_ETR_S89.htm, consulta em 20-08-2009).

Jensen, R., Gatrell, J., Boulton, J., e Harper, B., 2004, Using Remote Sensing and Geographic Information Systems to Study Urban Quality of Life and Urban Forest Amenities (URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss5/art5/>, consulta em 25-04-2007).

Leeuwen, E., Vreeker, R., e Rodenburg, C., 2003, A Framework for Quality of Life Assessment of Urban Green Areas in Europe; An application to District Park Reudnitz Leipzig. In *The 43rd European Regional Science Association Congress*, (Finland: *Jyvaskyla*).

Li, G. e Weng, Q., 2006, Measuring the quality of life of Indianopolis by integration of Remote Sensing and census data. *International Journal of Remote Sensing*, **28**, **2**, 249-267.

Liu, X. e Kafatos, M., 2005, Land-cover mixing and spectral vegetation indices. *International Journal of Remote Sensing*, **26**, **5**, 3321-3327.

Lo, C.P., e Faber B. J., 1997, Integration of Thematic Mapper and Census Data for Quality of Life Assessment. In *Remote Sensing Environment*, **62**, 143-157.

Luchiari, A., 2001, Identificação da Cobertura Vegetal em Áreas Urbanas por meio de Detecção Remota e de um Sistema de Informação Geográfica. *Revista do Departamento de Geografia*, **14**, 47-58 (USP, São Paulo, Brasil).

Lyon, J., Yuan, D., Lunetta, R., e Elvidge, C., 1998, A change detection experiment using vegetation indices. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **64**, **2**, 143-150.

Mather, P., 2004, *Computer Processing of Remotely Sensed Images: An Introduction* (3ª ed.) (England: Wiley).

Mennis, J., 2006, Socioeconomic-Vegetation Relationships in Urban, Residential Land: The Case of Denver, Colorado. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **72**, **8**, 911-921.

Moeller, M. S., e Blaschke, T., 2006. A new index for the differentiation of vegetation fractions in urban neighborhoods based on satellite imagery. In *ASPRS 2006 Annual Conference* (Reno, Nevada).

Nichol, J., e Lee, C.M., 2005, Urban Vegetation monitoring in Hong Kong using high resolution multispectral images. *International Journal of Remote Sensing*, **26**, **5**, 903-918.

Nussbaum, S., e Menz, G., 2008, *Object-Based Image Analysis and Treaty Verification: New Approaches in Remote Sensing-Applied to Nuclear Facilities in Iran* (Germany: Springer).

Rodrigues e Luz, 2007, Mapeamento da cobertura vegetal da Área Central do município de Belém PA, através de sensores remotos de base orbital (sensor TM, Landsat 5 e sensor CCD, CBERS 2). In *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, (Florianópolis, Brasil), pp. 1063-1070. (URL:marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.16.00.05/doc/1063-1070.pdf, consulta em 17-06-2007).

Stathopoulou, M. e Cartalis, C., 2006, Mapping Quality of Life in Metropolitan Athens Using Satellite and Census Data. In *1st EARSeL Workshop of the SIG Urban Remote Sensing* (Berlin). (URL:http://www2.hu-berlin.de/hu-geomatics/projects/earsel/CD_content/PDF/Poster1_Stathopoulou.pdf, consulta em 13-06-2007).

Weng e Lu, 2005, Urban Classification Using Full Spectral Information of Landsat ETM+ Imagery in Marion County, Indiana. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **71**, **11**, 1275-1284.

Yang, X., 2006, Estimating Landscape Imperviousness Index From Satellite Imagery. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, **3**, 6-9.

Yuan, F., e Bauer, M., 2006, Comparison of Impervious Surface Area and Normalized Difference Vegetation Index as Indicators of Surface Urban Heat Island Effects in Landsat Imagery. *Remote Sensing of Environment*, **106**, 375-386.

ANEXOS

Anexo 1. Variáveis estatísticas dos censos de 2001

VARIÁVEL	VARIÁVEL_DESCRÇÃO
EDIFÍCIOS	
TTE	Total de edifícios
E1919	Edifícios construídos antes de 1919
E1945	Edifícios construídos entre 1919 e 1945
E1960	Edifícios construídos entre 1946 e 1960
E1970	Edifícios construídos entre 1961 e 1970
E1980	Edifícios construídos entre 1971 e 1980
E1985	Edifícios construídos entre 1981 e 1985
E1990	Edifícios construídos entre 1986 e 1990
E1995	Edifícios construídos entre 1991 e 1995
E2001	Edifícios construídos entre 1996 e 2001
PR	Edifícios principalmente residenciais
PNR	Edifícios principalmente não residenciais
ER	Edifícios exclusivamente residenciais
INDÍVIDUOS	
TTHR	Total de homens residentes
TTMR	Total de mulheres residentes
IR_EP	Indivíduos residentes empregados

Tabela A1.1 Descrição das variáveis estatísticas dos censos de 2001 (Fonte: ISEGI, 2005).

Anexo 2. Análise da exactidão dos mapas de NDVI cruzados com o mapa de áreas verdes da CML - Distribuição de pontos de amostra por classe

	Classificação de referência						
NDVI (- 0.03) _ CML	0%	0-25%	25-50%	50-75%	75-99%	100%	Total
Verde NDVI	1	12	39	3	4	1	60
Verde		23	16	8	21	16	84
Não Verde	23	15	2				40
Verde CML	4	9	2	1			16
Total	28	59	59	12	25	17	200

Tabela A2.1. Pontos de amostra por classe do mapa NDVI > -0.03 e classificação de referência, com base em imagem LISS III e mapa de áreas verdes da CML.

	Classificação de referência						
NDVI (- 0.01) _ CML	0%	0-25%	25-50%	50-75%	75-99%	100%	Total
Verde NDVI		9	37	3	4	1	54
Verde		11	13	7	21	16	68
Não Verde	24	18	4				46
Verde CML	4	21	5	2			32
Total	28	59	59	12	25	17	200

Tabela A2.2. Pontos de amostra por classe do mapa NDVI > -0.01 e classificação de referência, com base em imagem LISS III e mapa de áreas verdes da CML.

	Classificação de referência						
NDVI (0.03) _ CML	0%	0-25%	25-50%	50-75%	75-99%	100%	Total
Verde NDVI		7	22	3	3	1	36
Verde			9	2	20	15	46
Não Verde	24	20	19		1		64
Verde CML	4	32	9	7	1	1	54
Total	28	59	59	12	25	17	200

Tabela A2.3. Pontos de amostra por classe do mapa NDVI > 0.03 e classificação de referência, com base em imagem LISS III e mapa de áreas verdes da CML.

	Classificação de referência						
NDVI (0.05) _ CML	0%	0-25%	25-50%	50-75%	75-99%	100%	Total
Verde NDVI		5	14	1	2		22
Verde			8	2	19	15	44
Não Verde	24	22	27	2	2	1	78
Verde CML	4	32	10	7	2	1	56
Total	28	59	59	12	25	17	200

Tabela A2.4. Pontos de amostra por classe do mapa NDVI > 0.05 e classificação de referência, com base em imagem LISS III e mapa de áreas verdes da CML.

	Classificação de referência						
NDVI (0.07) _ CML	0%	0-25%	25-50%	50-75%	75-99%	100%	Total
Verde NDVI		4	8	1	1		14
Verde			7	2	19	15	43
Não Verde	24	24	32	2	3	1	86
Verde CML	4	32	11	7	2	1	57
Total	28	60	58	12	25	17	200

Tabela A2.5. Pontos de amostra por classe do mapa NDVI > 0.07 e classificação de referência, com base em imagem LISS III e mapa de áreas verdes da CML.

	Classificação de referência						
NDVI (0.09) _ CML	0%	0-25%	25-50%	50-75%	75-99%	100%	Total
Verde NDVI		3	5	1			9
Verde			7	1	19	15	42
Não Verde	24	25	35	2	4	1	91
Verde CML	4	32	11	8	2	1	58
Total	28	60	58	12	25	17	200

Tabela A2.6. Pontos de amostra por classe do mapa NDVI > 0.09 e classificação de referência, com base em imagem LISS III e mapa de áreas verdes da CML.

	Classificação de referência						
NDVI (0.11) _ CML	0%	0-25%	25-50%	50-75%	75-99%	100%	Total
Verde NDVI		2	1	1			4
Verde			7		19	15	41
Não Verde	24	25	40	2	4	1	96
Verde CML	4	32	11	9	2	1	59
Total	28	59	59	12	25	17	200

Tabela A2.7. Pontos de amostra por classe do mapa NDVI > 0.11 e classificação de referência, com base em imagem LISS III e mapa de áreas verdes da CML.

	Classificação de referência						
NDVI (0.13) _ CML	0%	0-25%	25-50%	50-75%	75-99%	100%	Total
Verde NDVI		1	1				2
Verde			6		14	15	35
Não Verde	24	26	40	3	4	1	98
Verde CML	4	32	12	9	7	1	65
Total	28	59	59	12	25	17	200

Tabela A2.8. Pontos de amostra por classe do mapa NDVI > 0.13 e classificação de referência, com base em imagem LISS III e mapa de áreas verdes da CML.

Anexo 3. Análise de exactidão dos mapas de NDVI cruzados com o mapa de áreas verdes da CML – Matrizes de confusão

Referência Mapa	Não Verde	Verde	Total
Não Verde	51	5	56
Verde	36	108	144
Total	87	113	200

Tabela A3.1. Matriz de Confusão da comparação entre classificação de referência e mapa de NDVI> - 0.03 cruzado com mapa de áreas verdes da CML.

Referência Mapa	Não Verde	Verde	Total
Não Verde	67	11	78
Verde	20	102	122
Total	87	113	200

Tabela A3.2. Matriz de Confusão da comparação entre classificação de referência e mapa de NDVI> - 0.01 cruzado com mapa de áreas verdes da CML.

Referência Mapa	Não Verde	Verde	Total
Não Verde	80	38	118
Verde	7	75	82
Total	87	113	200

Tabela A3.3. Matriz de Confusão da comparação entre classificação de referência e mapa de NDVI> 0.03 cruzado com mapa de áreas verdes da CML.

Referência Mapa	Não Verde	Verde	Total
Não Verde	82	52	134
Verde	5	61	66
Total	87	113	200

Tabela A3.4. Matriz de Confusão da comparação entre classificação de referência e mapa de NDVI> 0.05 cruzado com mapa de áreas verdes da CML.

Referência Mapa	Não Verde	Verde	Total
Não Verde	84	59	143
Verde	4	53	57
Total	88	112	200

Tabela A3.5. Matriz de Confusão da comparação entre classificação de referência e mapa de NDVI> 0.07 cruzado com mapa de áreas verdes da CML.

Referência Mapa	Não Verde	Verde	Total
Não Verde	85	64	149
Verde	3	48	51
Total	88	112	200

Tabela A3.6. Matriz de Confusão da comparação entre classificação de referência e mapa de NDVI> 0.09 cruzado com mapa de áreas verdes da CML.

Referência Mapa	Não Verde	Verde	Total
Não Verde	85	70	155
Verde	2	43	45
Total	87	113	200

Tabela A3.7. Matriz de Confusão da comparação entre classificação de referência e mapa de NDVI> 0.11 cruzado com mapa de áreas verdes da CML.

Referência Mapa	Não Verde	Verde	Total
Não Verde	86	77	163
Verde	1	36	37
Total	87	113	200

Tabela A3.8. Matriz de Confusão da comparação entre classificação de referência e mapa de NDVI> 0.13 cruzado com mapa de áreas verdes da CML.

Anexo 4. Matrizes de confusão com resultados da comparação dos mapas de NDVI com mapa de áreas verdes da CML

		Mapa da CML			
		Verde	Não Verde	Total	C (%)
NDVI > -0.03	Verde	68135	52229	120364	56.61
	Não Verde	1237	89748	90985	98.64
	Total	69372	141977	211349	
	C (%)	98.22	63.21		74.70

Tabela A4.1. Matriz de confusão da comparação do mapa de NDVI> -0.03 e mapa de verde da CML.

		Mapa da CML			
		Verde	Não Verde	Total	C (%)
NDVI > -0.01	Verde	67119	39473	106592	62.97
	Não Verde	2253	102504	104757	97.85
	Total	69372	141977	211349	
	C (%)	96.75	72.20		80.26

Tabela A.4.2. Matriz de confusão da comparação do mapa de NDVI> -0.01 e mapa de verde da CML.

		Mapa da CML			
		Verde	Não Verde	Total	C (%)
NDVI > 0.03	Verde	62089	20714	82803	74.98
	Não Verde	7283	121264	128547	94.33
	Total	69372	141978	211350	
	C (%)	89.50	85.41		86.75

Tabela A.4.3. Matriz de confusão da comparação do mapa de NDVI> 0.03 e mapa de verde da CML.

		Mapa da CML			
		Verde	Não Verde	Total	C (%)
NDVI > 0.05	Verde	58590	14535	73125	80.12
	Não Verde	10782	127443	138225	92.20
	Total	69372	141978	211350	
	C (%)	84.46	89.76		88.02

Tabela A.4.4. Matriz de confusão da comparação do mapa de NDVI> 0.05 e mapa de verde da CML.

		Mapa da CML			
		Verde	Não Verde	Total	C (%)
NDVI > 0.07	Verde	54738	9599	64337	85.08
	Não Verde	14634	132378	147012	90.05
	Total	69372	141977	211349	
	C (%)	78.91	93.24		88.53

Tabela A.4.5. Matriz de confusão da comparação do mapa de NDVI> 0.07 e mapa de verde da CML.

		Mapa da CML			
		Verde	Não Verde	Total	C (%)
NDVI > 0.09	Verde	51033	5886	56919	89.66
	Não Verde	18339	136091	154430	88.12
	Total	69372	141977	211349	
	C (%)	73.56	95.85		88.54

Tabela A.4.6. Matriz de confusão da comparação do mapa de NDVI> 0.09 e mapa de verde da CML.

		Mapa da CML			
		Verde	Não Verde	Total	C (%)
NDVI > 0.11	Verde	47390	3024	50414	94.00
	Não Verde	21982	138953	160935	86.34
	Total	69372	141977	211349	
	C (%)	68.31	97.87		88.17

Tabela A.4.7. Matriz de confusão da comparação do mapa de NDVI> 0.11 e mapa de verde da CML.

		Mapa da CML			
		Verde	Não Verde	Total	C (%)
NDVI > 0.13	Verde	44052	812	44864	98.19
	Não Verde	25320	141165	166485	84.79
	Total	69372	141977	211349	
	C (%)	63.50	99.43		87.64

Tabela A.4.8. Matriz de confusão da comparação do mapa de NDVI> 0.13 e mapa de verde da CML.

Anexo 5. Matrizes de Confusão com resultados da comparação dos mapas de NDVI com o mapa de áreas verdes da Classificação Assistida

		Classificação Assistida			
		Verde	Não Verde	Total	C (%)
NDVI > -0.03	Verde	81436	38929	120365	67.66
	Não Verde	1390	89595	90985	98.47
	Total	82826	128524	211350	
	C (%)	98.32	69.71		80.92

Tabela A.5.1. Matriz de confusão da comparação do mapa de NDVI > - 0.03 e mapa de verde da CA.

		Classificação Assistida			
		Verde	Não Verde	Total	C (%)
NDVI > -0.01	Verde	80009	26584	106593	75.06
	Não Verde	2817	101940	104757	97.31
	Total	82826	128524	211350	
	C (%)	96.60	79.32		86.09

Tabela A.5.2. Matriz de confusão da comparação do mapa de NDVI > - 0.01 e mapa de verde da CA.

		Classificação Assistida			
		Verde	Não Verde	Total	C (%)
NDVI > 0.01	Verde	77557	16549	94106	82.41
	Não Verde	5268	111976	117244	95.51
	Total	82825	128525	211350	
	C (%)	93.64	87.12		89.68

Tabela A.5.3. Matriz de confusão da comparação do mapa de NDVI > 0.01 e mapa de verde da CA.

		Classificação Assistida			
		Verde	Não Verde	Total	C (%)
NDVI > 0.03	Verde	73153	9650	82803	88.35
	Não Verde	9672	118875	128547	92.48
	Total	82825	128525	211350	
	C (%)	88.32	92.49		90.86

Tabela A.5.4. Matriz de confusão da comparação do mapa de NDVI> 0.03 e mapa de verde da CA.

		Classificação Assistida			
		Verde	Não Verde	Total	C (%)
NDVI > 0.05	Verde	67850	5275	73125	92.79
	Não Verde	14975	123250	138225	89.17
	Total	82825	128525	211350	
	C (%)	81.92	95.90		90.42

Tabela A.5.5. Matriz de confusão da comparação do mapa de NDVI> 0.05 e mapa de verde da CA.

		Classificação Assistida			
		Verde	Não Verde	Total	C (%)
NDVI > 0.07	Verde	61728	2610	64338	95.94
	Não Verde	21098	125914	147012	85.65
	Total	82826	128524	211350	
	C (%)	74.53	97.97		88.78

Tabela A.5.6. Matriz de confusão da comparação do mapa de NDVI> 0.07 e mapa de verde da CA.

		Classificação Assistida			
		Verde	Não Verde	Total	C (%)
NDVI > 0.09	Verde	55631	1289	56920	97.74
	Não Verde	27195	127235	154430	82.39
	Total	82826	128524	211350	
	C (%)	67.17	99.00		86.52

Tabela A.5.7. Matriz de confusão da comparação do mapa de NDVI> 0.09 e mapa de verde da CA.

		Classificação Assistida			
		Verde	Não Verde	Total	C (%)
NDVI > 0.11	Verde	49805	610	50415	98.79
	Não Verde	33021	127914	160935	79.48
	Total	82826	128524	211350	
	C (%)	60.13	99.53		84.09

Tabela A.5.8. Matriz de confusão da comparação do mapa de NDVI> 0.11 e mapa de verde da CA.

		Classificação Assistida			
		Verde	Não Verde	Total	C (%)
NDVI > 0.13	Verde	44575	290	44865	99.35
	Não Verde	38251	128234	166485	77.02
	Total	82826	128524	211350	
	C (%)	53.82	99.77		81.76

Tabela A.5.9. Matriz de confusão da comparação do mapa de NDVI> 0.13 e mapa de verde da CA.

Anexo 6. Matrizes de Confusão com resultados da comparação dos mapas de NDVI com mapa de áreas verdes da Classificação não Assistida

		Classificação não Assistida			
		Verde	Não Verde	Total	C (%)
NDVI > -0.03	Verde	67971	52394	120365	56.47
	Não Verde	1487	89498	90985	98.37
	Total	69458	141892	211350	
	C (%)	97.86	63.07		74.51

Tabela A.6.1. Matriz de confusão da comparação do mapa de NDVI> -0.03 e mapa de verde da CNA.

		Classificação não Assistida			
		Verde	Não Verde	Total	C (%)
NDVI > -0.01	Verde	66962	39631	106593	62.82
	Não Verde	2496	102261	104757	97.62
	Total	69458	141892	211350	
	C (%)	96.41	72.07		80.07

Tabela A.6.2. Matriz de confusão da comparação do mapa de NDVI> -0.01 e mapa de verde da CNA.

		Classificação não Assistida			
		Verde	Não Verde	Total	C (%)
NDVI > 0.01	Verde	65091	29015	94106	69.17
	Não Verde	4366	112878	117244	96.28
	Total	69457	141893	211350	
	C (%)	93.71	79.55		84.21

Tabela A.6.3. Matriz de confusão da comparação do mapa de NDVI> 0.01 e mapa de verde da CNA.

		Classificação não Assistida			
		Verde	Não Verde	Total	C (%)
NDVI > 0.03	Verde	62430	20373	82803	75.40
	Não Verde	7027	121520	128547	94.53
	Total	69457	141893	211350	
	C (%)	89.88	85.64		87.04

Tabela A.6.4. Matriz de confusão da comparação do mapa de NDVI> 0.03 e mapa de verde da CNA.

		Classificação não Assistida			
		Verde	Não Verde	Total	C (%)
NDVI > 0.05	Verde	59190	13935	73125	80.94
	Não Verde	10267	127958	138225	92.57
	Total	69457	141893	211350	
	C (%)	85.22	90.18		88.55

Tabela A.6.5. Matriz de confusão da comparação do mapa de NDVI> 0.05 e mapa de verde da CNA.

		Classificação não Assistida			
		Verde	Não Verde	Total	C (%)
NDVI > 0.07	Verde	55588	8750	64338	86,40
	Não Verde	13870	133142	147012	90,57
	Total	69458	141892	211350	
	C (%)	80,03	93,83		89,30

Tabela A.6.6. Matriz de confusão da comparação do mapa de NDVI> 0.07 e mapa de verde da CNA.

		Classificação não Assistida			
		Verde	Não Verde	Total	C (%)
NDVI > 0.09	Verde	52004	4916	56920	91.36
	Não Verde	17454	136976	154430	88.70
	Total	69458	141892	211350	
	C (%)	74.87	96.54		89.42

Tabela A.6.7. Matriz de confusão da comparação do mapa de NDVI> 0.09 e mapa de verde da CNA.

		Classificação não Assistida			
		Verde	Não Verde	Total	C (%)
NDVI > 0.11	Verde	48043	2372	50415	95.30
	Não Verde	21415	139520	160935	86.69
	Total	69458	141892	211350	
	C (%)	69.17	98.33		88.75

Tabela A.6.8. Matriz de confusão da comparação do mapa de NDVI> 0.11 e mapa de verde da CNA.

		Classificação não Assistida			
		Verde	Não Verde	Total	C (%)
NDVI > 0.13	Verde	43835	1030	44865	97.70
	Não Verde	25623	140862	166485	84.61
	Total	69458	141892	211350	
	C (%)	63.11	99.27		87.39

Tabela A.6.9. Matriz de confusão da comparação do mapa de NDVI> 0.13 e mapa de verde da CNA.